



Carlos Guilherme Silva Tavares

**ANÁLISE DE PETROFÁCIES DA SUCESSÃO CRETÁCICA DO POÇO 1-UN-24-PI  
(PROJETO CARVÃO DA BACIA DO PARNAÍBA)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2007



UFRJ

**Carlos Guilherme Silva Tavares**

**ANÁLISE DE PETROFÁCIES DA SUCESSÃO CRETÁCICA DO POÇO 1-UN-24-PI  
(BACIA DO PARNAÍBA)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Leonardo Borghi

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2007

TAVARES, Carlos Guilherme Silva

**Análise de petrofácies da sucessão cretácica do poço 1-UN-24-PI (bacia do Parnaíba)** / Carlos Guilherme Silva Tavares - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2007.

xii, 31 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2007.

Orientador: Leonardo Borghi

1. Geologia. 2. Estratigrafia e paleontologia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Borghi, Leonardo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Carlos Guilherme Silva Tavares

ANÁLISE DE PETROFÁCIES DA SUCESSÃO CRETÁCICA DO POÇO 1-UN-24-PI  
(BACIA DO PARNAÍBA)

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro – UFRJ, apresentado como  
requisito necessário para obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Leonardo Borghi

Aprovada em: 18 dez. 2007

Por:

---

Orientador: Leonardo Borghi (UFRJ)

---

Ismar Souza Carvalho (UFRJ)

---

Leonardo Molinari (Chevron)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2007



Dedico este trabalho aos meus pais, Guilherme Tavares e Júlia Peixoto Silva Tavares, e ao meu irmão Alexandre Guilherme Silva Tavares, que sempre estiveram e sempre estarão ao meu lado.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador e amigo Leonardo Borghi, pela paciência e ajuda durante a graduação;

Ao 4º Distrito do DNPM, Recife/PE, pela cessão de amostras dos testemunhos de sondagem usadas neste trabalho;

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) durante o período de desenvolvimento deste trabalho;

Aos geólogos Marcelo da Silva Mendes e Vívian Cristina de O. Pessoa pela cessão de perfis estratigráficos do poço estudado.

Ao professor Júlio Cezar Mendes, pela ajuda valiosa durante as descrições petrográficas, não só deste trabalho, como durante toda a graduação.

Ao meu amor, Sabrina Belmonte Pereira, que, além de colaborar na confecção deste trabalho, me deu apoio e inspiração durante toda a graduação.

Aos amigos da graduação e do Lagesed pelas boas conversas, geológicas ou não.



## Resumo

TAVARES, Carlos Guilherme Silva. **Análise de petrofácies da sucessão cretácica do poço 1-UN-24-PI (Bacia do Parnaíba)**. 2007. xii, 31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, dez.2007.

A bacia do Parnaíba, localizada no Nordeste brasileiro, é uma das maiores bacias intracratônicas do país, com cerca de 600.000 km<sup>2</sup> e 3.000 m de empilhamento de rochas paleozóicas e mesozóicas. Seu registro cretácico depositou-se durante e em estreita relação com abertura da margem equatorial brasileira. Estudos recentes de cunhos estratigráfico, geológico-estrutural e petrográfico, apontam para um panorama de atividade tectônica ativa, divergindo de estudos clássicos sobre a bacia. Nesse contexto, o presente estudo busca contribuir para o entendimento da evolução tectonossedimentar da bacia por meio da análise de petrofácies sedimentares. Utilizaram-se 18 lâminas delgadas de arenitos das formações Grajaú, Codó e Itapecuru no do poço 1-UN-24-PI, com o objetivo de identificar áreas-fonte e horizontes estratigráficos associados a mudanças de proveniência, para avaliar a influência dos esforços tectônicos na deposição dos sedimentos cretácicos. A partir da análise estatística de agrupamento dos componentes petrográficos foi possível definir 3 petrofácies sedimentares, cada qual representativa de áreas-fontes distintas. Os resultados apontam para a existência de 2 superfícies petrogenéticas discordantes associadas a mudanças de proveniência, como resultado de esforços tectônicos durante a deposição dos sedimentos, o que corrobora os estudos atuais que consideram que, durante o Cretáceo, a bacia do Parnaíba apresentava tectônica ativa associada aos esforços de abertura do Oceano Atlântico Sul.

Palavras-chave: Petrografia; Bacia do Parnaíba; Cretáceo

## Abstract

TAVARES, Carlos Guilherme Silva. **Petrofacies analysis of the cretaceous sucession of the 1-UN-24-PI well core (Parnaíba Basin)**. 2007. xi, 31p. Final Course Monograph (Bacharel in Geology) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, dec.2007.

The Parnaiba basin, located in the Northeastern region of Brazil, is one of the largests intracratonic basins of the country, with about 600,000 km<sup>2</sup> and up to 3,000 m thick. Its Cretaceous interval was deposited under the influence of the equatorial margin opening tectonics, as supported by recent studies (petrography, stratigraphy and structural geology). The study aims the petrographic analysis of 18 thin sections of Cretaceous sandstones (Grajaú, Codó and Itapecuru formations) from the 1-UN-24-PI well core, as contribution for the comprehension of the tectono-sedimentary basin evolution. Three distinct petrofacies were characterized, which led to the interpretation of equal distinct source areas, besides two stratigraphic horizons associated with the provenance changes in the basin. These results allowed to evaluate the influence of tectonics in the deposition of the studied Cretaceous interval (Aptian/Albian). This corroborates the recent studies concerning the Parnaiba Basin as influenced by tectonic efforts associated with the equatorial margin opening process.

Key-Words: Petrography; Parnaíba Basin; Cretaceous

## Lista de figuras

Figura 1 – Localização da bacia do Parnaíba e do poço estudado. Fonte: Fundação Paleontológica Phoenix, acessada em (Fonte: Fundação Paleontológica Phoenix, <http://www.phoenix.org.br>, acessada em 02 de dezembro de 2007). 2

Figura 2 – Bacia do Parnaíba e seu embasamento. Notar a compartimentação dos depósitos cretácicos a norte da bacia e limitados pelo Arco Ximboiá. (Fonte: Fundação Paleontológica Phoenix, <http://www.phoenix.org.br>, acessada em 02 de dezembro de 2007). 3

Figura 3 – Diagrama estratigráfico da Bacia do Parnaíba. Em destaque os depósitos do Andar Alagoas, sob estudo. (Fonte: ANP, acessada em <http://www.anp.gov.br>, 02 de dezembro de 2007). 5

Figura 4 – Modelo deposicional proposto por Mendes (2007) para as Formações Grajaú e Codó (Mendes, 2007). Notar a concomitância de ambientes diversos como sabkha, fluvial entrelaçado e lagunar. 7

Figura 5 – Modelo deposicional proposto por Pessoa (2007) para a Formação Itapecuru (Pessoa, 2007), atribuindo-lhe uma paleoambiente fluvial meandrante. 9

Figura 6 – Diagrama de classificação composicional de arenitos das formações Grajaú, Codó e Itapecuru. Segundo o diagrama de Folk (1985). Notar a grande variedade composicional das amostras. 16

Figura 7 – Dendrogramas de agrupamento de amostras(modos Q) e de minerais (modo R). Observar as interpretações de petrofácies (A, B e C) e de áreas-fonte (Ígnea Básica/Metamórfica, Ígnea Ácida e Ígnea Intermediária) 18

Figura 8 – Diagrama de classificação de arenitos da petrofácies A de acordo com Folk (1974). Observar a variação entre a quantidade de quartzo e litoclastos. 20

Figura 9 – “Diagrama em pizza” composição média das amostras da petrofácies A. Observar a predominância de quartzo monocristalino, piroxênio e granófiro. 20

Figura 10 – Diagrama de classificação de Folk (1974) da petrofácies B ilustrando o posicionamento das amostras no campo de arenitos subfeldspáticos. 23

Figura 11 – “Diagrama em pizza” da composição média das amostras da petrofácies B. Observar a predominância de quartzo monocristalino e a presença significativa de biotita.  
23

Figura 12 – Diagrama de classificação de Folk (1985) para as amostras da petrofácies C. Notar a tendência lítica e sublítica das amostras.  
26

Figura 13 – “Diagrama em pizza” da composição média das amostras da petrofácies C. Observar a ocorrência de ortoclásio e microclina e a ausência de plagioclásio.  
26

Figura 14 - Distribuição estratigráfica das petrofácies identificadas, comparadas às descrições litológica das Formações Grajaú, Codó e Itapecuru. Modificado de Mendes (2007) e Pessoa (2007).  
27

**Lista de quadros e tabelas**

Quadro 11      1      –      Quadro de amostras analisadas.

Tabela 17      1      –      Tabela resumida das petrofácies identificadas.



## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	viii
<i>Abstract</i> .....	ix
Lista de figuras .....	x
Lista de quadros e tabelas.....	xi
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 GEOLOGIA REGIONAL.....	2
2.1 Aspectos gerais.....	2
2.2 Cretáceo da bacia do Parnaíba.....	6
3 MATERIAL E MÉTODO.....	11
4 RESULTADOS.....	15
4.1 Petrofácies.....	17
4.1.1 Petrofácies A.....	18
4.1.2 Petrofácies B.....	21
4.1.3 Petrofácies C.....	23
4.2 Análise estratigráfica e superfícies discordantes.....	26
5 CONCLUSÕES.....	28
Referências bibliográficas .....	29
Apêndice A – Estampas	
Apêndice B – Relação das amostras estudadas, sua caracterização composicional, textural e de petrofácies.	

## 1 INTRODUÇÃO

Trabalhos clássicos sobre a bacia do Parnaíba como Mesner & Wooldridge (1964) e Aguiar (1971) consideram que durante o Período Cretáceo a bacia experimentou tectônica relativamente estável. No entanto, estudos mais recentes, enfocando o arcabouço estrutural (*e.g.*, Azevedo, 1991) afirmam que a bacia sofreu reativações tectônicas relacionadas a sistemas transcorrentes durante esse período.

Tais esforços estão associados à abertura da margem equatorial brasileira no processo que deu origem ao oceano Atlântico Sul. Assim, a evolução da bacia, nesse período, possui uma intrínseca relação com as bacias de São Luís e Barreirinhas.

Devido à pouca quantidade de dados disponíveis sobre a bacia, questões sobre como os esforços de abertura do oceano Atlântico Sul afetaram a deposição de seus sedimentos cretácicos e como se deu a sua separação das bacias de São Luís e Barreirinhas, através do soerguimento do alto Ferrer Urbano–Santos, ainda permanecem pouco compreendidas.

Segundo, Rossetti (2001), Pessoa (2007) e Mendes (2007) uma atividade tectônica, apresentada durante a sedimentação cretácica, está expressa no registro geológico através de discordâncias.

Nesse contexto, o presente trabalho insere-se como uma contribuição ao conhecimento da evolução tectonossedimentar da bacia do Parnaíba por meio da análise petrográfica, através da caracterização de petrofácies dos arenitos cretáceos (formações Grajaú, Codó e Itapecuru) em uma sucessão do poço 1-UN-24-PI\*, a fim de se identificar áreas-fonte e horizontes estratigráficos associados às mudanças de proveniências que permitam avaliar a influência dos esforços tectônicos na deposição das rochas cretácicas.

\* Projeto Carvão na Bacia do Parnaíba (CNPM/CPRM, 1978)

## 2 GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1 Aspectos Gerais

A bacia do Parnaíba, localizada na região ocidental do Nordeste brasileiro (Fig. 1), tem forma elipsoidal com eixo maior NW-SE medindo cerca de 1.000 km de extensão e uma área de 600.000 km<sup>2</sup>. Trata-se de uma bacia do tipo I (interior cratônico, segundo Klemme, 1980) preenchida por sedimentos depositados desde o Siluriano até o Cretáceo que acumulou cerca de 3.000 m. Limita-se a noroeste com as bacias de Tapajós e Amazonas, das quais é limitada pelo arco de Tocantins. Ao norte, limita-se com as bacias de São Luís e Barreirinhas, pelo arco de Tocantins. Ao sul, é separada da bacia Sanfranciscana pelo arco do Médio São Francisco.



Figura 1 – Localização da bacia do Parnaíba e do poço estudado. (Fonte: Fundação Paleontológica Phoenix, <http://www.phoenix.org.br>, acessada em 02 de dezembro de 2007)

O embasamento da bacia do Parnaíba (Figura 2), pré-cambriano, compreende os crátons Amazônico e São Luís, os cinturões Araguaia e Gurupi e a Província Borborema. O cráton

Amazônico ocorre a oeste e sudoeste e se divide em seis províncias geocronológicas, interpretadas como sucessivas colagens de arcos magmáticos (Tassarini & Macambira, 1999, *apud* Nascimento *et al.*, 2007), possuindo, portanto, uma ampla variedade de rochas desde gnaissicas e migmatíticas até rochas ígneas vulcânica e plutônicas (básicas a ácidas). O cráton de São Luís (Figura 2) ocorre nas regiões nordeste e noroeste, e é considerado um fragmento do cráton do Oeste Africano remanescente na Plataforma Sulamericana. Consiste de granitóides e, subordinadamente, rochas metavulcanossedimentares, divididas em quatro grupos paleoproterozóicos: Arizona; Tromai, Traquateua e a Suíte Intrusiva Rosário (Moura *et al.*, 2003, *apud* Nascimento *et al.*, 2007). A sudoeste, o cráton São Luís é bordejado pela Faixa Gurupi que inclui granitóides ácidos a intermediários e rochas metavulcânicas.

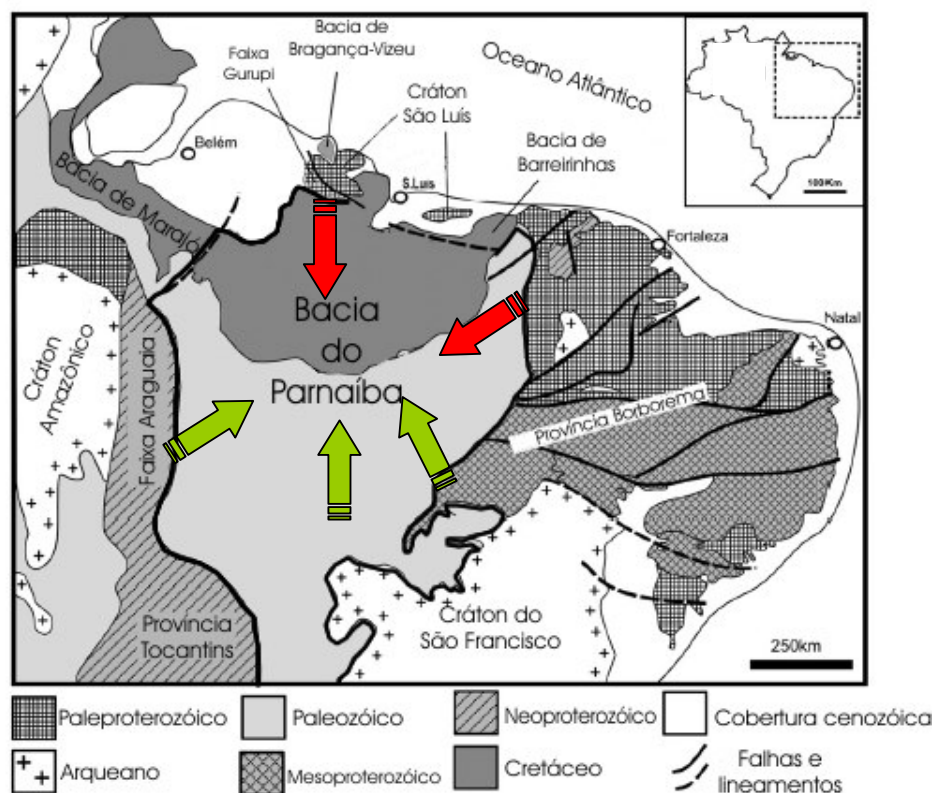


Figura 2 – Bacia do Parnaíba e seu embasamento. Notar a compartimentação dos depósitos cretácicos a norte da bacia e limitados pelo Arco Xambioá. As setas vermelhas indicam as primeiras rochas-fonte para os sedimentos cretácicos, enquanto as verdes indicam as rochas-fonte posteriores (Fonte: Nascimento *et al.*, 2007)

A Faixa Araguaia (Figura 2) forma a porção norte da Província Tocantins e tem orientação N – S. Esse cinturão orogênico Neoproterozóico compreende o Supergrupo Baixo Araguaia que inclui os grupos Estrondo e Tocantins. O Grupo Estrondo é composto por meteconglomerado, metaquartzito, micaxisto e xisto com granada, estauroлита e cianita e metaultramáficas. O Grupo Tocantins inclui xisto, filito, metaquartzito, metarcóseo e metacalcário, além de metavulcânicas ácidas, intermediárias e básicas. A Província Borborema consiste de embasamento gnáissico e migmatítico, principalmente formados durante o Ciclo Transamazônico (2,0–2,2 Ga), o qual é parcialmente coberto por rochas metavulcânicas e metassedimentares mesoproterozóicas e neoproterozóicas (Brito Neves & Van Schmus, 2001). A Província Borborema (Figura 2) foi afetada pelos ciclos Cariris Velhos (*ca.* 1,0 Ga) representado por biotita-muscovita-gnaisses, granda-biotita-xistos e rochas metavulcânicas intrudidas por rochas graníticas plutônicas de idade Neoproterozóica (Brito Neves & Van Schmus, 2001); e Brasileiro (*ca.* 0,6 Ga) responsável metamorfismo de grau baixo a alto, abundante magmatismo e desenvolvimentos de zonas de cisalhamento de escala continental.

A gênese da bacia do Parnaíba remonta ao fim do Ciclo Brasileiro, após o conjunto de colagens que deu origem ao continente Gondwana. Com o cessamento dos esforços compressivos, o resfriamento e a contração da litosfera favoreceram a formação de falhas normais e a reativação de estruturas lineares antigas em zonas tectonicamente instáveis. Assim, instalou-se um quadro tectonoestrutural dominado por grábens (Cunha, 1986). Tais grábens foram preenchidos pelas formações Riachão e Mirador, acima das quais se desenvolveram as seqüências deposicionais da bacia.

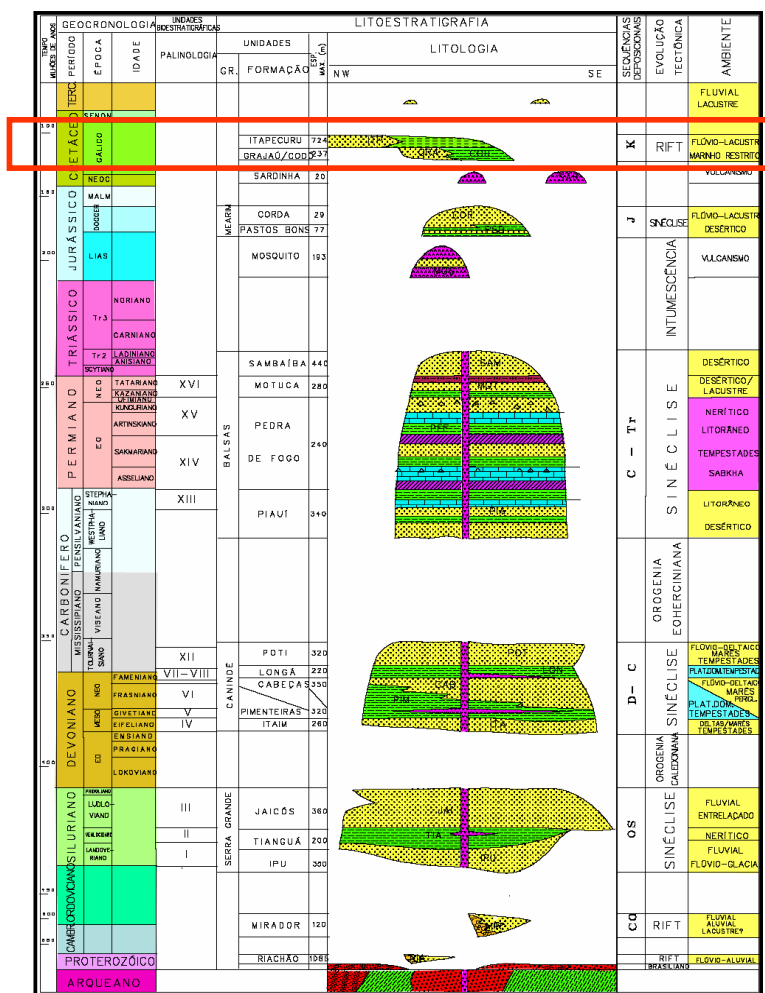


Figura 3 – Diagrama estratigráfico da Bacia do Parnaíba. Em destaque os depósitos do Andar Alagoas, sob estudo. Fonte: ANP, acessada em <http://www.anp.gov.br>.

Góes & Feijó (1994) dividiram a bacia do Parnaíba em cinco seqüências de segunda ordem de Sloss (Figura 3), correspondentes aos seus grupos litoestratigráficos. A primeira, siluriana, é representada pelo Grupo Serra Grande correspondendo a um ciclo transgressivo-regressivo representativo da primeira ingressão marinha na bacia. A segunda corresponde ao Grupo Canindé, de idade devoniana, possivelmente associada à subsidência e expansão da bacia por carga sedimentar, resultando na maior ingressão marinha na bacia através de um ciclo transgressivo-regressivo. A terceira seqüência, correspondente ao Grupo Balsas, representa novo um ciclo transgressivo-regressivo ocorrido entre o Carbonífero e o Triássico. A quarta seqüência, de idade Jurássica, é associada à subsidência resultante do vulcanismo básico ocorrido no Triássico e corresponde ao Grupo Mearim, cujo registro é exclusivamente continental. A última grande seqüência deposicional é a cretácica, cuja sedimentação teve

influência de esforços de ruptura da margem equatorial brasileira no Neocomiano. A subsidência imposta pelo processo de rifteamento da margem continental que se seguiu proporcionou uma rápida transgressão seguida da retirada definitiva do mar.

## **2.2 O intervalo Aptiano–Albiano da bacia do Parnaíba**

Os sedimentos de meados do cretáceos (Aptiano–Albiano) da bacia do Parnaíba correspondem às formações Grajaú, Codó e Itapecuru, os quais ocorrem no poço estudado. Tais formações possuem a particularidade de apresentarem-se compartimentadas a norte e a noroeste da bacia (Figura 02). Azevedo (1991) individualizou essa área como uma bacia independente referindo-a como “bacia do Codó” e interpretou-a como resultante de processos de subsidência térmica do tipo “Sag”. Góes (1995) definiu formalmente essa área como “bacia do Grajaú”, sendo limitada a norte pelo arco Ferrer–Urbano Santos, a sul pelo arco Xambioá–Teresina, a leste pelo lineamento Rio Parnaíba, a oeste pelo lineamento Tocantins–Araguaia e a noroeste pelo arco Capim. Quanto à formação da bacia do Grajaú, Góes & Rossetti (2001) entendem que está ligada à de São Luís, que resultou de esforços associados à formação de um rifte intracontinental abandonado durante a abertura do Oceano Atlântico, no Jurássico Superior/Cretáceo Inferior. Nesse contexto, a bacia do Grajaú seria isolada da bacia de São Luís pelo arco Ferrer–Urbano Santos, e ter-se-ia reconectado a ela entre o início e meados do Albiano, com a reativação tectônica deste arco.

O presente trabalho tratará toda a extensão dos sedimentos paleozóicos, mesozóicos e cenozóicos como constituintes da bacia.

A Formação Grajaú (Figuras 3 e 4) foi primeiramente descrita por Lisboa (1914, *apud* Pessoa, 2007) como “arenitos Grajaú” subordinados aos folhelhos betuminosos da Formação Codó; é caracterizada por arenitos finos a conglomeráticos de idade Aptiana (Pedrão *et al*, 1993), que se encontram interdigitados com a Formação Codó apresentando uma

equivalência estratigráfica com esta formação (Carneiro, 1974). Seu contato com as formações sotopostas é discordante.

A Formação Codó (figuras 3 e 4) é composta de folhelhos betuminosos, calcários e anidritas e foi datada como eocretácea por Mesner & Wooldridge (1964).

As formações Grajaú e Codó possuem diferentes interpretações paleoambientais disponíveis na literatura. Os arenitos da Formação Grajaú são interpretados como fluvio-lacustres (CPRM/DNPM, 1978), flúvio-deltaicos (Petri & Fulfaro, 1983; Mendes, 2007), flúvio-eólicos (Brito, 1981). Já a Formação Codó foi interpretada como marinha por Petri & Fulfaro (1983), Mesner & Wooldridge (1964) e Góes & Feijó (1994), lagunar anóxico por Cerqueira & Marques (1985, *apud* Mendes, 2007), e lacustre fechado evoluindo para lacustre aberto com influência marinha tardia por Mendes & Borghi (2005) e Mendes (2007).

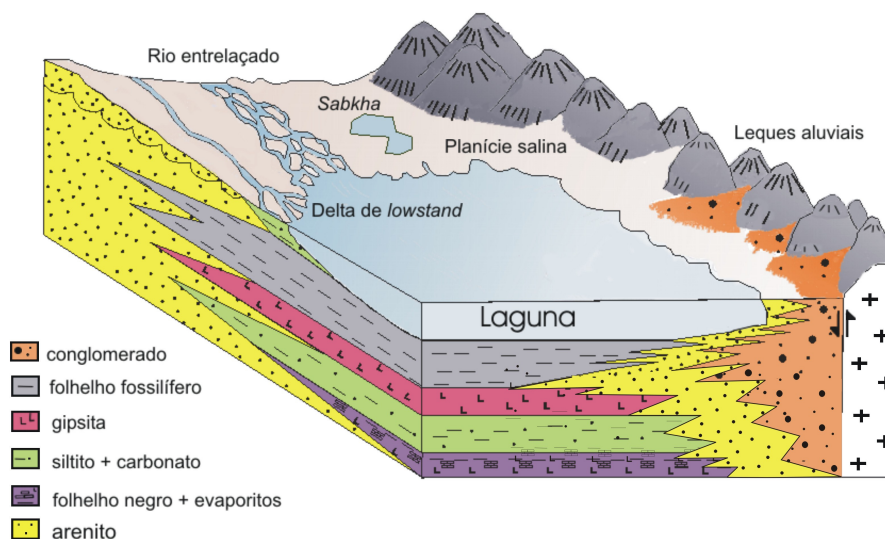


Figura 4 – Modelo deposicional proposto por Mendes (2007) para as Formações Grajaú e Codó (Mendes, 2007). Notar a concomitância de ambientes diversos como sabkha, fluvial entrelaçado e lagunar.



A Formação Itapecuru teve seu primeiro registro feito por Lisboa (1914, *apud*, Pessoa, 2007) como “camada Itapecuru”, e posteriormente Campbell (1949, *apud* Pessoa, 2007) com o *status* de formação, designando arenitos com lutitos intercalados discordantemente sobre a Formação Codó.

A Formação Itapecuru (figuras 3 e 5) é correlacionável às unidade homônimas nas bacias de Bragança–Viseu, São Luís e Ilha Nova e à Formação Tutóia na bacia de Barreirinhas (Góes & Feijó, 1994; Mesner & Wooldridge, 1964). Em linhas gerais, esta unidade litoestratigráfica abrange rochas predominantemente areníticas, com intercalações de siltitos e argilitos, de coloração avermelhada, e sua idade é neocretácica segundo Brito (1991) e Pedrão *et al.* (1993).

As características deposicionais desta formação são amplamente variadas denotando gênese em diferentes contextos paleoambientais (Carvalho *et al.*, 1993). Sendo assim, diversos paleoambientes deposicionais já lhes foram atribuídos, como o flúvio-lacustre por Góes & Feijó (1994), progradações flúvio-deltáicas em condições lacustres (Gonçalves & Carvalho, 1996), flúvio-deltaico influenciado por tempestade por Rossetti & Góes (2003), na bacia de São Luís, fluvial por Pedrão *et al.* (1993) e Petri & Fulfaro (1983), e, mais particularmente com fluvial meandrante por Pessoa & Borghi (2005) e Pessoa (2007).

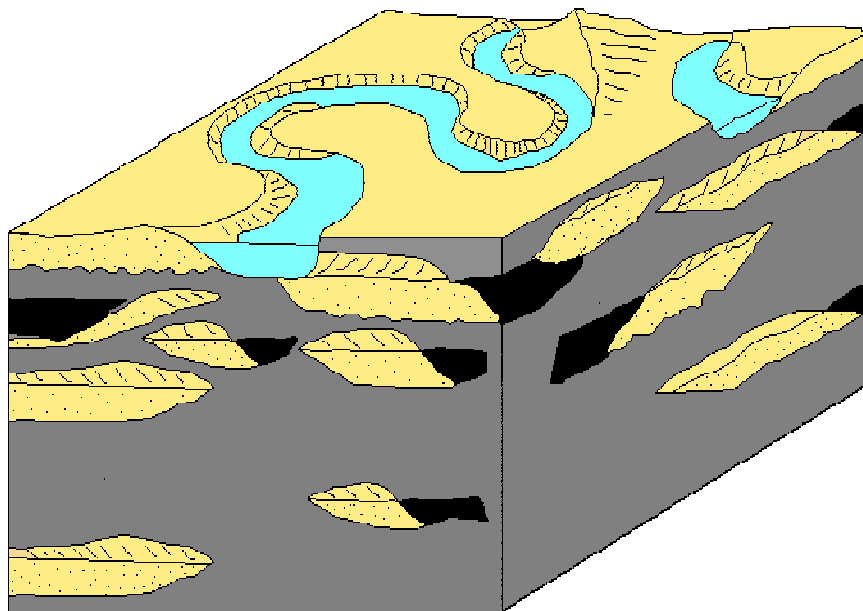


Figura 5 – Modelo deposicional proposto por Pessoa (2007) para a Formação Itapecuru (Pessoa, 2007), atribuindo-lhe uma paleoambiente fluvial meandrante.

Mendes (2007) e Pessoa (2007) identificam superfícies discordantes nas formações Grajaú, Codó e Itapecuru e interpretam-nas como de origem tectônica.

Nascimento & Góes (2006), em um estudo petrográfico de arenitos albianos da bacia do Parnaíba, observaram o predomínio de grãos de quartzo em sua composição (80 %), com a presença de litoclastos de quartzito (15%) e, como acessórios, feldspatos e micas (<1%). Os autores classificaram-nos como quartzo-arenitos segundo o diagrama QFL de Pettijohn *et al.* (1987) e, sua fonte, como interior cratônico e orógeno reciclado, segundo o diagrama QmFLt de Dickinson (1985).

Nascimento *et al.* (2007) realizou um estudo de proveniência nos mesmos arenitos albianos, na margem sudeste da bacia do Parnaíba, a partir da análise química de minerais pesados (zircão e turmalina) e de paleocorrentes. O estudo observou a contribuição primária de rochas metassedimentares e secundária de granitóides, registrando ainda a ocorrência de fontes máficas nas zonas basais do intervalo analisado. O estudo identificou, ainda, que o padrão de rochas-fonte provavelmente sofreu mudanças durante a evolução

tectonossedimentar da bacia. Fato este acompanhado pela evolução de fontes a norte e nordeste para rochas-fonte a sul e sudoeste. As fontes a norte e nordeste são representadas pelo cráton São Luís, pela faixa Gurupí e pela porção oeste da Província Borborema, enquanto aquelas a sul e sudoeste são representadas pelo cráton Amazônico, pela faixa Araguaia, pela província Borborema e, principalmente, pela porção paleozóica da bacia (Figura 2).

### 3 MATERIAL E MÉTODO

Foram confeccionadas 18 lâminas delgadas a partir de amostras de arenitos das Formações Grajaú, Codó e Itapecuru, coletadas em testemunho de sondagem do poço 1-UN-24-PI (Figura 1 e Quadro 1), descrito por Mendes (2005) e Pessoa (2005). A coleta de amostras procurou cobrir representativamente todo o intervalo do estudo (187 m), observando a granulometria dos arenitos sugerida por Dickinson. (1985) para a análise de petrofácies (granulometria fina a média).

Quadro 1 – Quadro de amostras analisadas.

Amostra	Profundidade (m)	Formação	Fácies*	Processo*
1	45,00	Itapecuru	A1	Desaceleração de corrente trativa subaquosa (tração e decantação), em regime de fluxo inferior; migração de ondulações.
2	48,80	Itapecuru	A6	Corrente subaquosa de alta energia tracionando carga-de-fundo em megaondulações de crista reta (estratificação cruzada planar) e crista sinuosa (estratificação cruzada acanalada).
3	49,80	Itapecuru	A6	
4	61,45	Itapecuru	A2	
5	82,50	Itapecuru	A3	Ações biogênicas (raízes vegetais, invertebrados e vertebrados? continentais).
6	97,80	Itapecuru	A2	Corrente trativa subaquosa em regime de fluxo inferior; migração de ondulações.
7	104,94	Codó	Ac	Aporte terrígeno depositado por corrente subaquosa, alternada com decantação, e deformado pelo escape de fluidos.
8	183,55	Codó	Ao	Aporte de terrígeno macroclástico (fluxo trativo), reelaborado por fluxo oscilatório.
9	186,25	Codó	Ab	Tração em regime de baixa energia, exposição subaérea e formação de paleossolo. Intensa bioturbação obliterando qualquer estrutura sedimentar, indicando ambiente oxigenado.
10	188,43	Grajaú	Aox	Aporte de terrígeno depositado por tração em corrente subaquosa, em ambiente oxidante.
11	190,58	Grajaú	Ab	Tração em regime de baixa energia, exposição subaérea e formação de paleossolo. Intensa bioturbação obliterando qualquer estrutura sedimentar, indicando ambiente oxigenado.
12	195,70	Grajaú	Ac	Aporte terrígeno depositado por corrente subaquosa, alternada com decantação, e deformado pelo escape de fluidos.
13	200,00	Grajaú	Ab	Tração em regime de baixa energia, exposição subaérea e formação de paleossolo. Intensa bioturbação obliterando qualquer estrutura sedimentar, indicando ambiente oxigenado.
14	205,00	Grajaú	Ac	Aporte terrígeno depositado por corrente subaquosa, alternada com decantação, e deformado pelo escape de fluidos.
15	212,00	Grajaú	Ac(c)	Aporte de terrígenos depositados por fluxo de corrente trativa desacelerante.
16	219,20	Grajaú	Ac	Aporte terrígeno depositado por corrente subaquosa, alternada com decantação, e deformado pelo escape de fluidos.
17	221,60	Grajaú	Ac	
18	231,35	Grajaú	Ac	

\* Segundo Mendes (2007) e Pessoa (2007).

As lâminas foram descritas petrograficamente ao microscópio de luz fotônica transmitida polarizada (microscópio Zeiss Axioskop 40), enfatizando-se aspectos composicionais, embora também tenham sido observados os aspectos texturais e diagenéticos para a complementação da descrição das petrofácies. Como apoio à análise petrográfica, e para melhor contextualização estratigráfica, foram utilizados os trabalhos Mendes (2007) e Pessoa (2007).

Em cada lâmina foram contados 300 pontos onde foram computadas as seguintes variáveis: quartzo monocrystalino (Qm), quartzo policristalino com 2 ou 3 subgrãos (Qp2-3), quartzo policristalino com mais de 3 subgrãos (Qp>3), plagioclásio (P), microclina (Mi), ortoclásio (Or), Piroxênio (Px), Hornblenda (Hb), Biotita (Bi), Muscovita (Mu), Clorita (Cl), Calcita (Ca), Zircão (Zi), Opacos (Op), Turmalina (Tu), Litoclastos Sedimentares (Ls), Litoclastos Metamórfico (Lm), Litoclastos Ígneos (Li), Granófiros (Gf) além de poros, cimento e matriz sedimentar.

Após a contagem de pontos, os dados foram analisados do ponto de vista composicional buscando o estabelecimento de petrofácies. Assim como no conceito de fácies sedimentar utilizado por Borghi (2000), define-se aqui uma petrofácies como *uma massa de sedimento ou rocha sedimentar terrígena caracterizada e distinguida das demais por aspectos composicionais (mineralógicos) dos componentes macroclásticos*.

A bacia do Parnaíba, não apresentou variação de ambiente tectônico significativa ao longo de sua história, e apesar da atividade tectônica apresentada, manteve-se como uma bacia de interior cratônico, cujos sedimentos experimentaram vários ciclos sedimentares. Por conta disso, não foram utilizadas as petrofácies de Dickinson *et al.* (1983) para fins de interpretação no presente estudo. No entanto, a partir do mesmo conceito, admitiu-se que a mudança das rochas expostas na área-fonte e, por consequência, dos minerais transportados, é reproduzida nos sedimentos depositados na bacia sedimentar. Assim, a análise baseou-se no

agrupamento das amostras de arenito em petrofácies e na análise estratigráfica das petrofácies para a discussão de superfícies discordantes.

Para a determinação das petrofácies foi utilizada a análise de agrupamento estatístico, através de dois modos: Q e R. A análise pelo modo Q tem como objetivo identificar quanto cada amostra é semelhante ou distinta das demais, com base nos valores de suas variáveis (minerais). O resultado da análise é um gráfico em árvore (dendrograma) onde as amostras são hierarquizadas de acordo com seu grau de semelhança (“*distance linkage*”). As amostras dispostas no eixo das abscissas são conectadas entre si formando nós, que por sua vez são conectados a outros nós também por seu grau de semelhança. No eixo das ordenadas encontra-se a mensuração do grau de semelhança onde os nós mais próximos da origem são aqueles que apresentam maior grau de semelhança. A partir desse modo de agrupamento é possível individualizar as amostras semelhantes entre si e distintas das demais, como petrofácies, admitindo-se um grau de semelhança confiável. O segundo modo de agrupamento, denominado modo R, tem como objetivo identificar quanto cada variável tem sua abundância associada às demais, com base na semelhança ou diferença entre seus valores ao longo das amostras. As variáveis são dispostas em um dendrograma de acordo com sua semelhança, como no modo Q, e sua correlação é mensurada no eixo das ordenadas pela proximidade entre os nós e a origem. Adotando-se um grau de semelhança mínimo arbitrário, é possível separar as variáveis (minerais) em grupos que representam uma paragênese ou um conjunto de paragêneses, correspondendo a domínios de áreas-fonte.

Para essa análise de agrupamento foi utilizado o *software* Statística 7, introduzindo-se os valores obtidos na contagem de pontos, com exceção dos valores das variedades de quartzo e feldspato. Estes foram recalculados para suas abundâncias relativas, gerando novas variáveis que também foram utilizadas na análise de agrupamento:

$$\mathbf{FP} = P/(P + \mathbf{Mi} + \mathbf{Or})$$

$$\mathbf{FMi} = \mathbf{Mi}/(P + \mathbf{Mi} + \mathbf{Or})$$

$$\mathbf{FOR} = \mathbf{Or}/(P + \mathbf{Mi} + \mathbf{Or})$$

$$\mathbf{FQm} = Qm/(Qm + Qp^{2-3} + Qp^{>3})$$

$$\mathbf{FQp^{2-3}} = Qp^{2-3}/(Qm + Qp^{2-3} + Qp^{>3})$$

$$\mathbf{Fp^{>3}} = Qp^{>3}/(Qm + Qp^{2-3} + Qp^{>3})$$

A interpretação de uma petrofácies determinada pela análise de agrupamento (modo Q) corresponde a uma ou mais áreas-fonte e/ou seu contexto geotectônico. Dickinson *et al.* (1983) estudaram uma ampla gama de arenitos provenientes de diferentes fontes com o objetivo de estabelecer os fatores controladores da sua composição. Concluíram que, embora fatores secundários como relevo, clima, mecanismo de transporte, ambiente deposicional e alteração diagenética devam ser considerados, é o ambiente geotectônico das áreas-fonte o que exerce o controle primário sobre a composição dos arenitos. A partir desse estudo, os autores elaboraram diagramas ternários contendo campos composicionais com diferentes proveniências (petrofácies *sensu* Dickinson *et al.*, 1983). Nesse estudo sua interpretação baseou-se em grupos de variáveis associados à paragêneses mineralógicas, também identificados na análise de agrupamento (modo R).

Após a identificação das petrofácies, estas foram analisadas estratigraficamente em função de superfícies de descontinuidade previamente determinadas por Mendes (2007) e Pessoa (2007). Novas superfícies, petrogenéticas, foram sugeridas, correspondendo a mudanças nas características das áreas-fonte dos arenitos estudados, as quais, corroboraram a interpretação de superfícies discordantes.

## 4 RESULTADOS

Texturalmente, os arenitos das formações Grajaú, Codó e Itapecuru, possuem, em geral, granulometria fina a média; sua seleção é predominantemente moderada, havendo uma leve tendência de seleção moderadamente boa nas amostras mais finas, enquanto que as amostras de granulometria média apresentam seleção moderadamente pobre. Os grãos de areia possuem formas subesféricas a subprismoidais com bordas subangulosas, com exceção das amostras da Formação Grajaú. Nas amostras da Formação Grajaú foi observada uma população subordinada de grãos muito bem arredondados e de granulometria unicamente média (Estampa I – Figura F), contrastando com o restante dos grãos das amostras (subangulosos e moderadamente mal selecionados).

O caráter fluvial da Formação Grajaú já foi reconhecido por diversos autores (Petri & Fúlfaro, 1983; Mendes, 2007; Brito, 1981). Esse paleoambiente seria o responsável pela seleção moderadamente pobre e o caráter subanguloso dos grãos predominantes nas amostras; mas não explica a presença dessa moda de grãos médios melhor arredondados. Dessa forma, a análise textural dos arenitos dessa formação sugere que possuía uma fonte sedimentar secundária possivelmente eólica ou marinha rasa. Dentre essas, cogita-se mais provavelmente em uma fonte eólica, cujos paleoambientes foram muito comuns e com ampla distribuição em todo o Gondwana durante esse período. Autores como Brito (1981), já classificaram a Formação Grajaú como sendo flúvio-eólica.

As amostras analisadas apresentam grande variedade quando plotadas no gráfico QFL de Folk (1974), conforme ilustrado na Figura 6. Seu espalhamento no gráfico dificulta sua classificação; no entanto, é possível notar o predomínio de amostras no campo sublítico e subarcóseo.



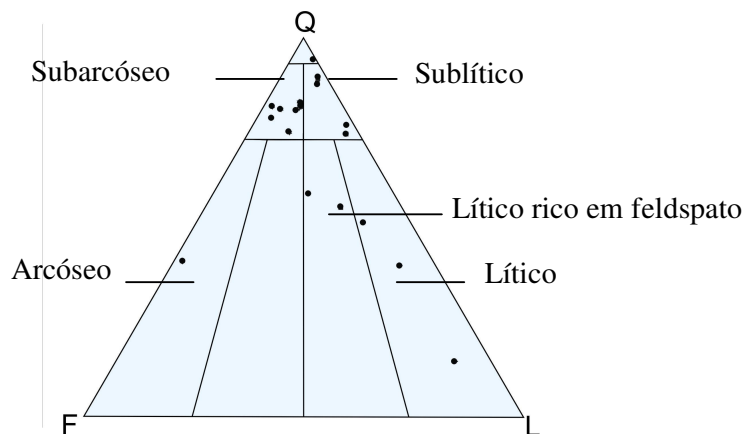


Figura 6 – Diagrama de classificação composicional de arenitos das formações Grajaú, Codó e Itapecuru. Segundo o diagrama de Folk (1974). Notar a grande variedade composicional das amostras.

O quartzo é o mineral mais abundante nos arenitos analisados. Sua variedade monocristalina corresponde a 63% dos grãos; enquanto que a policristalina com 2 ou 3 subgrãos ( $Qp_{2-3}$ ) a 4,1%; e a policristalina com mais de 3 subgrãos ( $Qp_{>3}$ ) a 2,7%. Indicam a participação de fontes ígneas, sedimentares e metamórficas, respectivamente.

Os feldspatos ocorrem como microclina ( $Mi \sim 2,7\%$ ), ortoclásio ( $Or \sim 5,2\%$ ) e plagioclásio ( $P \sim 4,2\%$ ), sendo estes dois últimos controlados estratigraficamente, o que os torna importantes para a análise estratigráfica.

O piroxênio é um mineral incomum na composição de arenitos devido à sua baixa estabilidade diante dos processos intempéricos que ocorrem na superfície e em subsuperfície. Todavia, as amostras analisadas apresentam valores relevantes desse mineral em alguns intervalos, chegando até a 17% (Estampa I – figuras A, B e D). Devido ao estado de preservação dos grãos de piroxênio, muitos dos quais se encontravam intensamente oxidados e substituídos (Estampa I – Figura A), uma classificação mais específica não foi possível.

Os litoclastos observados no estudo foram agrupados em litoclastos sedimentares ( $Ls \sim 3,2\%$ ) representados por arenitos, alteritos, siltitos e litoclastos carbonáticos; litoclastos metamórficos ( $Lm \sim 8\%$ ), correspondendo a quartzitos, filitos e xistos; e litoclastos ígneos

ácidos (Li~1%) representados pela associação de quartzo e/ou alcalifeldspato e biotita. Ainda como litoclastos, há a ocorrência de granófiros (Gr~7%; Estampa I – Figura C), que são intercrescimentos de quartzo com alcalifeldspatos ou com plagioclásios (Estampa I – Figura C e Estampa II – Figura B). Tais granófiros ocorrem em todo o intervalo analisado, com porcentagens diferentes.

#### 4.1 Petrofácies

Foram identificadas 3 petrofácies (Tabela 1 e Figura 7) através da análise de agrupamento pelo modo Q, bem como 3 áreas-fonte distintas pelo modo R (Figura 7). Para cada petrofácies foi estabelecida uma diagnose e uma interpretação de área-fonte baseada nas identificadas anteriormente.

Tabela 1 – Tabela resumida das petrofácies identificadas.

Petrofácies	Formação	Intervalo de ocorrência	Diagnose	Interpretação
A	Grajaú (inferior)	221,6–200,0 m	Px = 12,5–20,5 % Gf = 10,8–26,4% FP = 54,0–65,0% FOr = 36,1–53,9%	Área-fonte ígnea básica sob tectônica ativa
B	Grajaú (superior), Codó e Itapecuru (inferior)	195,7–97,8 m	Gf = 0,3–6,15% FP = 31,0%–41,0% FOr = 38,0 – 54,0%	Área-fonte ígnea intermediária
C	Itapecuru (superior)	45,0–82,5 m	Gf = 3,0–7,1% FP = 0,0%–22,0% FOr = 59,5–80,0%	Área-fonte ígnea ácida, e retrabalhamento intrabacinal com erosão dos depósitos

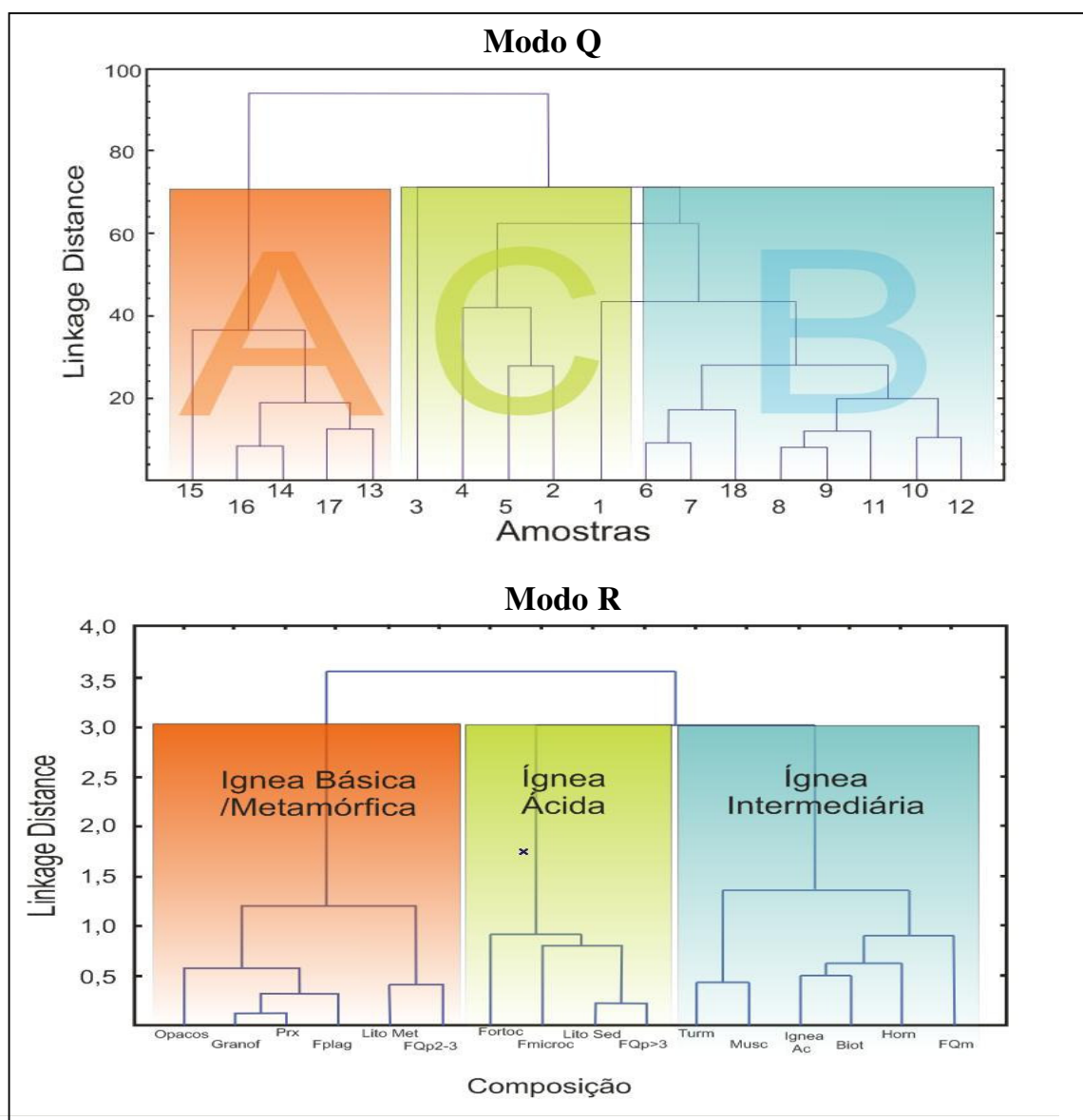


Figura 7 – Dendrogramas de agrupamento de amostras (modo Q) e de minerais (modo R). Observar as interpretações de petrofácies (A, B e C) e de áreas-fonte (ígnea básica/metamórfica, ígnea ácida e ígnea intermediária)

#### 4.1.1 Petrofácies A

**Diagnose.** Valores de piroxênio muito elevados (Prx= 12,5% - 20,5%) acompanhados por valores de plagioclásio mais elevados que os de ortoclásio (Fplag = 54,0% - 65,0% e Forto = 36,1% - 53,9%). Apresenta ainda valores elevados de granófiro (Gf = 10,8% - 16,4%)

**Interpretação.** Fonte ígnea básica sob tectônica ativa.

**Discussão.** Essa petrofácies foi definida entre as profundidades 200 m e 221,6 m do poço 1-UN-24-PI. Corresponde às amostras 13, 14, 15, 16 e 17, todas pertencentes à Formação Grajaú, interpretada como paleoambiente fluvial meandrante por Mendes (2007).

São arenitos finos a médios, angulosos e moderadamente selecionados. A amostra 13 corresponde à fácies Ab de Mendes (2007) interpretada como aporte terrígeno depositado por corrente subaquosa e bioturbado intensamente. As amostras 14, 16 e 17 são inseridas na fácies Ac de Mendes (2007) atribuída ao depósito de terrígenos por corrente subaquosa alternado com decantação. A amostra 15 corresponde à fácies Ac(c) de Mendes (2007), que é interpretada como depósito de terrígenos por corrente desacelerante.

As amostras dessa petrofácies apresentam valores baixos de porosidade (visual) variando entre 0,5 e 3%, com exceção da amostra 15, que é de 9%. Isso ocorre devido à grande quantidade de esmectita e calcita cimentando e preenchendo os poros quase que por completo (Estampa I – figuras A e E).

Do ponto de vista composicional, são arenitos líticos e líticos ricos em feldspato segundo a classificação de Folk (1974), ilustrado na Figura 8. Esta petrofácies apresenta valores anômalos de piroxênio e granófiros (Figura 9). Tais componentes, devido à sua baixa estabilidade frente ao intemperismo, são bastante incomuns em rochas sedimentares. Assim, sua abundância nos arenitos analisados é interpretada como indicativa de atividade tectônica, que teria permitido a manutenção do relevo necessário para um transporte rápido e seu soterramento e preservação. Somada à abundância de piroxênios, observa-se a predominância de plagioclásio entre os feldspatos e a ocorrência marcante de minerais opacos. Tal consideração permitiu a interpretação de uma fonte ígnea básica para essa petrofácies.

Também é comum a ocorrência de litoclastos metassedimentares (filitos e quartzitos) nas amostras evidenciando a participação de fontes metamórficas.

A partir dos dados de paleocorrente de Nascimento *et al.* (2007), é possível sugerir que possivelmente as rochas-fonte básicas para esses sedimentos foram as máficas e ultramáficas do embasamento arqueano da Província Borborema, localizada a nordeste e a leste dos depósitos. Já os litoclastos metamórficos podem ser provenientes do embasamento arqueano, da Formação Santa Brígida e do Grupo Bragança da Província Borborema, e das formações Santa Luzia e Piriá do cráton São Luís.

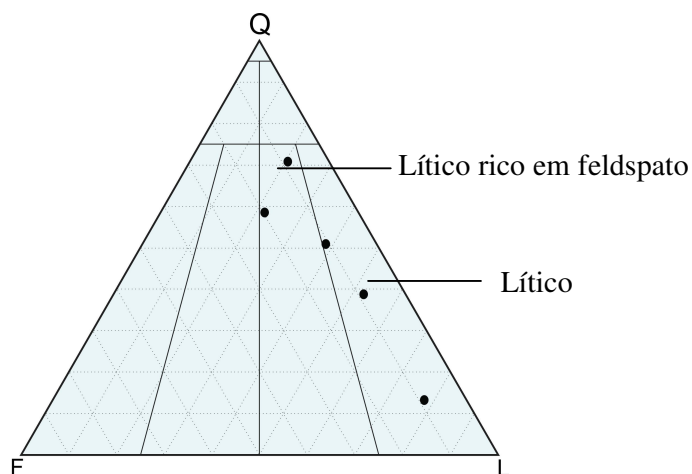


Figura 8 – Diagrama de classificação de arenitos da petrofácies A de acordo com Folk (1974). Observar a variação entre a quantidade de quartzo e litoclastos.

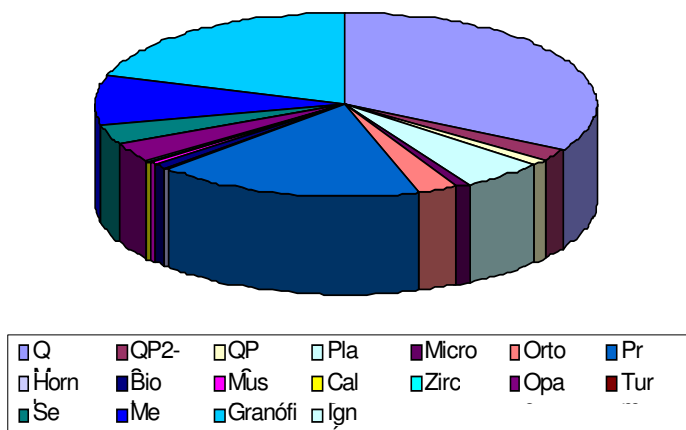


Figura 9 – “Diagrama em pizza” composição média das amostras da petrofácies A. Observar a predominância de quartzo monocrystalino, piroxênio e granófi.

Todas as amostras apresentam quatro fases de cimentação, ordenadas com base nas relações de contato entre os cimentos. A primeira é marcada pela formação de *coating* de óxido de ferro ao redor dos grãos. Possivelmente tal cobertura de óxido de ferro tenha colaborado para a preservação dos grãos de piroxênio abundantes nas amostras (Estampa II – Figura A). A segunda fase é representada pela formação de cimento de esmectita ao redor dos grãos. Por ser um argilomineral rico em ferro a esmectita encontra-se fortemente associada à alteração dos clastos de piroxênio. A terceira trata-se da formação de caolinita. Essa fase é bastante restrita a alguns pontos das amostras, tendo sido muito pouco expressiva. A última fase de cimentação corresponde à precipitação de cimento de calcita que obliterou completamente a porosidade original da rocha (Estampa I – Figura E).

#### 4.1.2 Petrofácies B

**Diagnose.** Valores de ortoclásio e de plagioclásio equilibrados ( $F_{orto} = 38\% - 54\%$  e  $F_{plag} = 31\% - 41\%$ ) e valores baixos de granófiro ( $Gf = 0,3\% - 6,1\%$ ).

**Interpretação.** Fonte ígnea intermediária.

**Discussão:** Esta petrofácies ocorre entre as profundidades 97,8m a 195,7m do poço 1-UN-24-PI e corresponde às amostras 6, 7, 8 9, 10, 11 e 12.

A amostra 6 encontra-se na base da Formação Itapecuru, interpretada por Pessoa (2007) como um paleoambiente fluvial meandrante. Trata-se de um arenito fino com grãos subangulosos e moderadamente selecionados, que pertence à fácies A<sub>2</sub> de Pessoa (2007), interpretada como depósito de migração de ondulações e megaondulações de pequeno porte.

As amostras 7 e 8 encontram-se, respectivamente no topo e na base da Formação Codó, interpretada por Mendes (2007) como um paleoambiente lacustre fechado evoluindo para lacustre aberto com influencia marinha tardia. A Amostra 7 é um arenito muito fino superior moderadamente selecionado inserido na fácies Ac de Mendes (2007) atribuída ao

depósito de terrígenos por corrente subaquosa alternado com decantação. A amostra 8 é um arenito fino superior mal selecionado da fácies Ao de Mendes (2007) interpretada como depósito de microclásticos por fluxo trativo com reelaboração por onda.

As amostras 9, 10, 11 e 12 pertencem à porção superior da Formação Grajaú, interpretada por Mendes (2007) como um paleoambiente flúvio-deltáico. As amostras 9 e 11 são arenitos de granulometria fina superior bioturbados e mal selecionados. Correspondem à fácies Ab de Mendes (2007) interpretada como depósito com tração em regime de baixa energia com exposição subaérea e formação de paleossolo. A amostra 10 é um arenito fino superior mal selecionado e bioturbado, atribuído à fácies Aox de Mendes (2007) interpretada como depósito de terrígenos por tração em corrente subaquosa, em ambiente oxidante. A última amostra, que define a base desta petrofácies, é a amostra 12 que se trata de uma arenito médio moderadamente mal selecionado classificado por Mendes (2007) como fácies Ac, descrita anteriormente.

As amostras apresentam porosidade visual variando entre 2 e 10%, fortemente controlada pela cimentação de calcita e, principalmente, de caolinita. As amostras 6, 8, 9 e 10 são as que apresentam os melhores valores de porosidade (de 7 a 10%) e apresentam de 2 a 5% de cimento.

Além das amostras enumeradas, a amostra 18, a última do poço 1-UN-24-PI, também foi classificada como petrofácies B, mas foi desconsiderada por não se encontrar no mesmo intervalo das demais.

Composicionalmente, as amostras são classificadas, segundo Folk (1974), como arenitos subfeldspáticos (Figura 10). A petrofácies B apresenta proporção equilibrada entre os valores de plagioclásio ( $\text{Plag} = 3,2\% \text{ a } 5,7\%$  e  $\text{Fplag} = 31\% \text{ a } 41\%$ ) e ortoclásio ( $\text{Orto} = 4,0\% \text{ a } 7,8\%$  e  $\text{Forto} = 38\% \text{ a } 45\%$ ; Figura 11). A biotita é uma mineral muito comum (máx. 10%) ocorrendo nas variações marrom pálido e verde indicando presença de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$

respectivamente, sendo também comum apresentar-se alterada para clorita por processos diagenéticos (Estampa II – Figuras C e E). Em comparação com as demais petrofácies, a petrofácies B apresenta valores pouco expressivos de litoclastos sedimentares e metamórficos, chegando a 4,7 % de litoclastos sedimentares na amostra 12 e 2% de litoclastos metamórficos na amostra 11. Foram observados também litoclastos ígneos (formados por biotita, quartzo e microclina) como acessórios. Tal assembléia mineralógica é interpretada como proveniente de área-fonte ígnea intermediária, e suas possíveis rochas-fonte são as vulcânicas intermediárias do Grupo Iirí, localizado no cráton Amazônico; e as metavulcânicas intermediárias do Grupo Tocantins, localizado na faixa Araguaia.

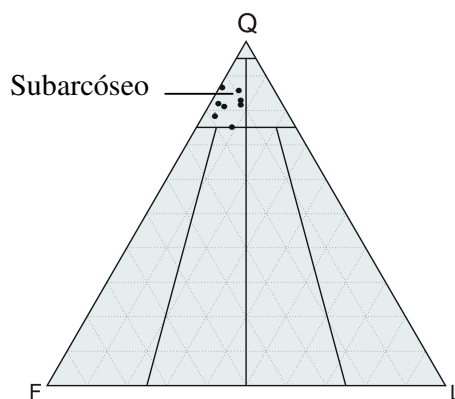


Figura 10 – Diagrama de classificação de Folk (1974) da petrofácies B ilustrando o posicionamento das amostras no campo de arenitos subfeldspáticos.

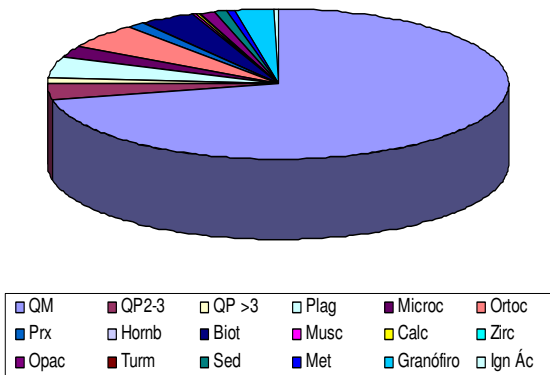


Figura 11 – “Diagrama em pizza” da composição média das amostras da petrofácies B. Observar a predominância de quartzo monocrystalino e a presença significativa de biotita.

Ao contrário das demais petrofácies, a petrofácies B não apresenta *coating* de óxido de ferro, à exceção da amostra 11. Tal fato se deve ao caráter redutor apresentado pelos



paleoambientes de deposição desses sedimentos (topo da Formação Grajaú e Formação Codó) inibindo a oxidação dos componentes ricos em ferro. A caulinita é o cimento mais abundante, ocorrendo nas bordas dos grãos e substituindo grãos de feldspato, e localmente ocorre cimentação carbonática preenchendo alguns poros. Feições de compactação como esmagamento e quebra de biotitas e contatos suturados de grãos de quartzo são comuns.

#### 4.1.3 Petrofácies C

**Diagnose.** Valores de ortoclásio muito superiores aos de plagioclásio (Fortho = 59,5% - 80% e Fplag = 0 - 22%) e valores baixos, mas representativos, de granófiro (Gf = 3,0% - 7,1%).

**Interpretação.** Fonte ígnea ácida e retrabalhamento intrabacial, com erosão dos próprios depósitos da formação.

**Discussão.** Esta petrofácies ocorre entre 45,0 m e 82,5 m de profundidade no poço 1-UN-24-PI. Compreende as amostras 1, 2, 3, 4 e 5, todas pertencentes à Formação Itaipuru, interpretada por Pessoa (2007) como um paleoambiente fluvial meandrante.

A amostra 1 trata-se de um arenito fino superior com seleção moderada e grãos subangulosos. Corresponde à fácies A<sub>1</sub> de Pessoa (2007), depositada por corrente trativa subaquosa desacelerante. As amostras 2 e 3 são arenitos fino superior e médio inferior, respectivamente, mal selecionados, com grãos subangulosos e com intraclastos de argila e clastos de concreções de calcita. Corresponde à fácies A<sub>6</sub> de Pessoa (2007) depositada por corrente subaquosa de alta energia com tracionamento de carga de fundo. A amostra 4 é um arenito fino moderadamente a mal selecionado com grãos subangulosos. Insere-se na fácies A<sub>2</sub> de Pessoa (2007) interpretada como depósito de migração de ondulações e megaondulações de pequeno porte. A amostra 5 trata-se de um arenito fino mal selecionado com grãos subangulosos, inserida na fácies A<sub>3</sub> de Pessoa (2007) atribuída à bioturbação de outras fácies.

A amostras dessa petrofácies apresentam porosidades visuais que variam entre 0 e 10 %. Variação essa, controlada pela quantidade de matriz sedimentar e de cimentação calcítica (Estampa III – figuras A, B, C e E). As amostras 2 e 3, ambas pertencentes à fácies A6 de Pessoa (2007), são aquelas que apresentam os melhores valores de porosidade (5 e 10%).

Do ponto de vista composicional, as amostras dessa petrofácies são classificadas, segundo Folk (1974), como arenitos sublíticos e líticos, em alguns casos ricos em feldspato (Figura 12). Esta petrofácies apresenta baixa quantidade ou mesmo ausência de plagioclásio, acompanhada por valores representativos de ortoclásio (Figura 13), sendo interpretada como uma fonte ígnea ácida.

A partir de dados de paleocorrente de Nascimento *et al.* (2007), é possível definir como possíveis rochas-fonte, para tais sedimentos, as rochas dos complexos Xingu e Rio Apa localizados no cráton Amazônico e as rochas do Grupo Tocantins.

Esta petrofácies apresenta, ocasionalmente, valores consideráveis de intraclastos argilosos e alteritos, responsáveis pela variação na quantidade de fragmentos líticos nas amostras (Estampa I – Figura F). Tais componentes são interpretados como provenientes da erosão do próprio sistema deposicional pela elevação de sua energia. Além disso, também ocorrem grãos de calcita e de concreções calcíticas envoltas nas cutículas de óxido de ferro evidenciando sua origem alóctone. Tal ocorrência é interpretada como erosão dos depósitos carbonáticos da Formação Codó, sotoposta, por mudança do nível de base do ambiente e aumento de sua energia.

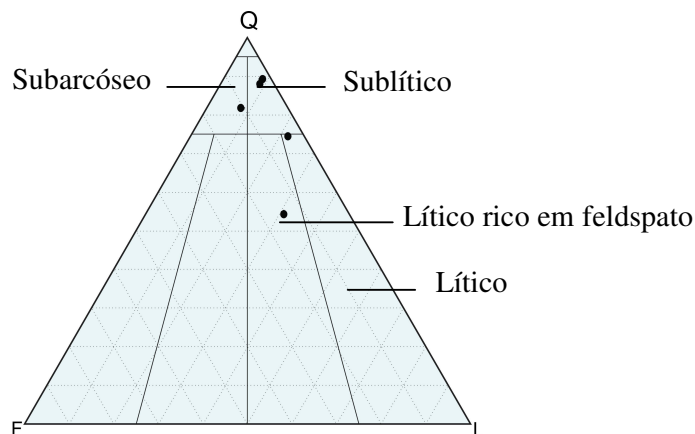


Figura 12 – Diagrama de classificação de Folk (1974) para as amostras da petrofácies C. Notar a tendência lítica e sublítica das amostras.

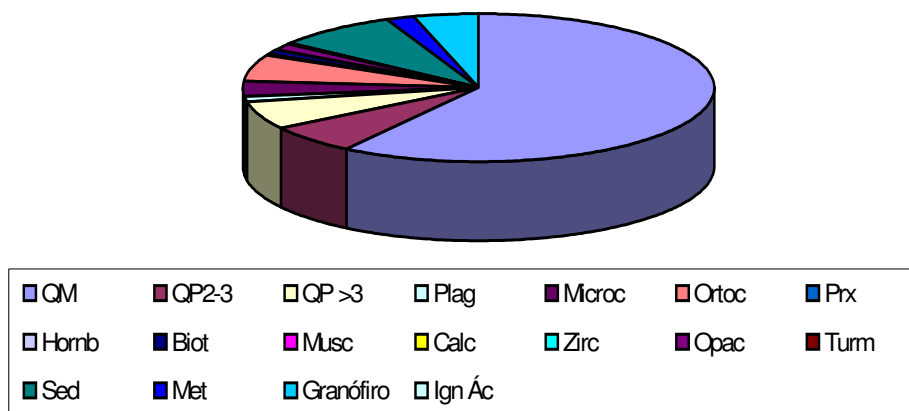


Figura 13 – “Diagrama em pizza” da composição média das amostras da petrofácies C. Observar a ocorrência de ortoclásio e microclina e a ausência de plagioclásio.

A primeira fase diagenética apresentada pelas amostras é a infiltração mecânica de argila caracterizada pela orientação das biotitas e das muscovitas. Neste processo a argila é introduzida em cheias fluviais após períodos de estiagem e lençol freático rebaixado. Esta fase só é observada nas amostras 1, 4 e 5. Posteriormente o ferro presente nas argilas é remobilizado e gera os *coatings* de ferro (Estampa III – Figura E). Em uma segunda fase precipitou-se cimento de calcita com hábitos mosaico e poiquilotópico. Por fim precipitou-se caolinita com hábitos pulverulento e vermicular (Estampa II – Figura F). Este último sugere deposição em água doce, favorecendo a interpretação de ambiente fluvial sobre a de ambiente marinho para essa formação.

## 4.2 Análise estratigráfica e superfícies discordantes

A análise de petrofácies permitiu a interpretação de diferentes áreas-fonte baseada no comportamento mineralógico dos arenitos estudados. Isso é possível devido à premissa de que diferentes áreas fonte imprimem diferentes composições nos sedimentos gerados por sua erosão e transporte. Tal pressuposto permite a identificação de superfícies de descontinuidade petrogenética com base na mudança da área fonte e de atividade tectônica.

Foram identificadas, no presente estudo, três petrofácies sedimentares que se sucedem na estratigrafia das formações Grajaú, Codó e Itapecuru (Figura 14). A petrofácies A ocorre na base da Formação Grajaú e foi interpretada como indicativa de área fonte ígnea básica sob forte atividade tectônica. Tal contexto se sucedeu por uma área fonte ígnea intermediária representada pela petrofácies C, que ocorre no topo da Formação Grajaú, por toda a Formação Codó e na base da Formação Itapecuru. No topo da Formação Itapecuru a petrofácies B indica ocorrência de uma área fonte predominantemente ígnea ácida.

Com base na sucessão das petrofácies foram estabelecidas duas superfícies de descontinuidade indicativas da mudança brusca da área fonte dos sedimentos (Figura 11). A mudança de uma área fonte ígnea básica para uma ígnea intermediária e desta para uma fonte ígnea ácida são interpretadas como resultantes de esforços tectônicos durante a deposição dos sedimentos cretáceos da bacia do Parnaíba. Tais esforços foram responsáveis pela exposição de diferentes tipos de rochas como resposta da mudança do nível de base controladora da denudação e, portanto, dos sistemas de drenagem contributários para a bacia.

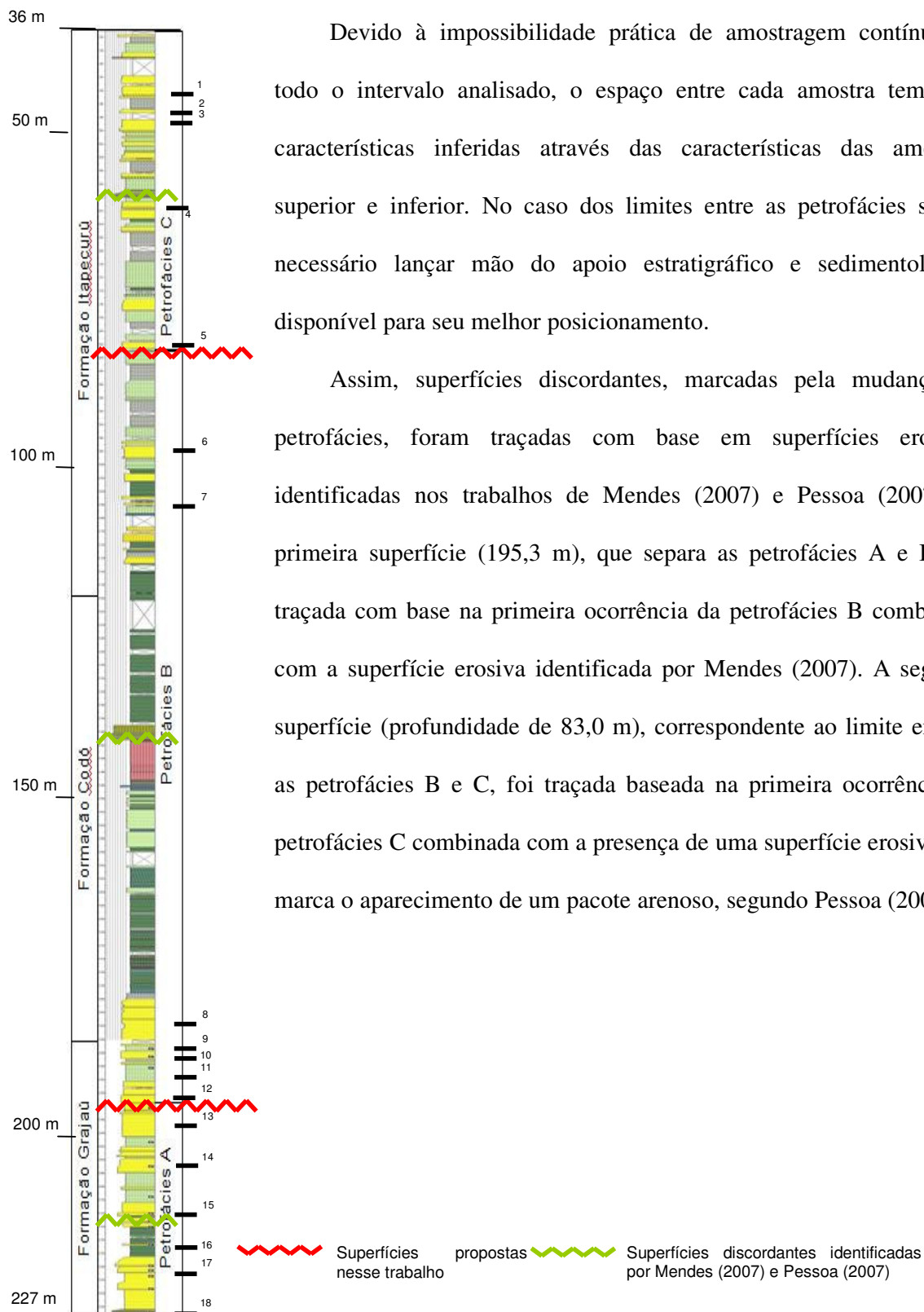


Figura 14 - Distribuição estratigráfica das petrofácies identificadas, comparadas às descrições litológica das formações Grajaú, Codó e Itapecuru. Modificado de Mendes (2007) e Pessoa (2007).

Devido à impossibilidade prática de amostragem contínua de todo o intervalo analisado, o espaço entre cada amostra tem suas características inferidas através das características das amostras superior e inferior. No caso dos limites entre as petrofácies se faz necessário lançar mão do apoio estratigráfico e sedimentológico disponível para seu melhor posicionamento.

Assim, superfícies discordantes, marcadas pela mudança de petrofácies, foram traçadas com base em superfícies erosivas identificadas nos trabalhos de Mendes (2007) e Pessoa (2007). A primeira superfície (195,3 m), que separa as petrofácies A e B, foi traçada com base na primeira ocorrência da petrofácies B combinada com a superfície erosiva identificada por Mendes (2007). A segunda superfície (profundidade de 83,0 m), correspondente ao limite entre as petrofácies B e C, foi traçada baseada na primeira ocorrência da petrofácies C combinada com a presença de uma superfície erosiva que marca o aparecimento de um pacote arenoso, segundo Pessoa (2007).

## 5 CONCLUSÕES

O estabelecimento de petrofácies sedimentares e de discordâncias petrogenéticas, através de análise petrográfica, mostrou-se um método eficaz na análise estratigráfica do intervalo Alagoas da bacia do Parnaíba.

Foram identificadas duas superfícies discordantes associadas a mudanças nas áreas-fonte dos sedimentos. Tais mudanças são admitidas como indícios de atividade tectônica ativa sofrida pela bacia do Parnaíba. Este resultado vai de encontro com estudos recentes, tanto estratigráficos quanto estruturais, que também identificam atividade tectônica na bacia.

Uma mudança de área-fonte por atividade tectônica, se expressa em grandes amplitudes, em escala bacial. Portanto, tanto as petrofácies quanto as superfícies discordantes associadas, podem ser identificadas em outros pontos na bacia, e podem ser utilizadas para correlação estratigráfica.

A análise estratigráfica das discordâncias petrogenéticas sugere dissincronia com as superfícies estratigráficas identificadas no poço. Tal fato é atribuído à defasagem entre as respostas do sistema deposicional e da área fonte aos esforços tectônicos vigentes na região. O sistema deposicional responde rapidamente a esses esforços possuindo um equilíbrio tênue entre taxa de sedimentação, nível de base e energia do sistema. Já a mudança da área fonte depende da atuação dos processos geomórficos, de erosão e exposição das rochas subjacentes, processos esses mais lentos que os citados anteriormente.

## Referências bibliográficas

- AGUIAR, G.A. Revisão geológica da bacia paleozóica do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo, SP. **Anais ...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. v.2, p. 113-122.
- AZEVEDO, R.P. **Tectonic evolution of brazilian equatorial continental margin basins.** 1991. 412f. Thesis (PhD in Geology) – Royal School of Mines Imperial College, Londres.
- BARBOSA da Cruz, W.; LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F.;QUINHO, J.S.ANGELIM, L.A.A.; VALE, P.A.B.R. Relatório Final da 1ª Etapa. **Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba**, 1ª ed. Recife: CPRM, v.5, 1978.
- BORGHI, L. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. **Boletim do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, n.53, p.1–26, 2000.
- BRITO, I.M. Estratigrafia da bacia do Parnaíba. II –As seqüências sedimentares superiores. **Anais da Revista Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.53, n.3, p.529–545, 1981.
- BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.) **Tectonic evolution of South-America**. Rio de Janeiro: Int. Geol. Congr., 2001. p.151–182.
- CARNEIRO, M.V. **Mapeamento estrutural da área de Grajaí-Imperatriz**. Belém: Petrobrás, 1974. 45p. (Relatório técnico 358).
- CARVALHO, I.S.; GONÇALVES, R.A. & AZEVEDO, S.A.K. Os dinossauros da Bacia de São Luís (Maranhão, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.65, n.2. p.217. 1993.
- CUNHA, F.M.B. **Evolução Paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico.** 1986. 107f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- DICKINSON, W.R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: ZUFFA, G.G. (ed.), **Provenance of Arenites**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985. p.333-361.
- DICKINSON, W.R.; BEARD, L.S.; BRAKENRIDGE, G.R.; ERJAVEC, J.L.; FERGUSON R.C.; INMAN K.P. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. **Geol Soc Amer Bull** v.94 , p. 222–235. 1983.
- FOLK, R.L. **The petrology of sedimentary rocks**. Austin: Hemphill Publishing Company, 1974. 182 p.

- GÓES A.M. **A Formação Potí (Carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba**. 1995. 180f. Tese (Doutorado em geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GÓES, A.M & FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.8, n.8, p.57–67, 1994.
- GÓES A.M., ROSSETTI, D.F. 2001. Gênese da bacia de São Luís-Grajaú. *In*: D.F. ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (eds.) **O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p.31-46.
- GONÇALVES, R.A. & CARVALHO, I.S. 1996. Contribuição ao estudo da sedimentação da Formação Itapecuru - região de Itapecuru-Mirim, bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior) - Maranhão - Brasil. **Revista de Geologia**, n.9, p. 75-81.
- KLEMME, H.D. Petroleum Basins – Classification and Characteristics. **Journal of Petroleum Geology**, Chicago, v.3, n.2, p.187–207, 1980.
- MENDES, M.S. **Análise estratigráfica do intervalo formacional Grajaú–Codó (Aptiano) da bacia do Parnaíba, NE do Brasil**. 2007. 163f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MENDES, M.S. **Análise faciológica da Formação Codó (Aptiano/Albiano), na bacia do Parnaíba**. 2005. 67f. Monografia (trabalho de Conclusão de Curso de Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MENDES, M.S. & BORGHI, L. Análise faciológica do Formação Codó (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM ÓLEO E GÁS, 3., 2005. Salvador, BA. **Resumos...**Salvador: IBP, 2005. 1 CD-ROM.
- MESNER, J.C. & WOOLDRIDGE, L. C. P. Maranhão Paleozoic basin and Cretaceous coastal basins, north Brazil. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, Tulsa, v. 48, p.1475-1512, 1964.
- NASCIMENTO, M. S. ; GÓES, A. M. . Petrografia de arenitos e texturas de minerais pesados e quartzo: uma contribuição ao estudo de proveniência de depósitos albianos na borda sul da Bacia de São Luís-Grajaú. *In*: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7., 2006, Serra Negra, SP. **Boletim...** Rio Claro : UNESP, 2006. v. 1, p. 91.
- NASCIMENTO, M.S.; GÓES, A.M.; MACAMBIRA, M.J.B.; BROD, J.A. Provenance of albian sandstones in the São Luís–Grajaú basin (northern Brazil) from evidence of Pb–Pb zircon ages, mineral chemistry of tourmaline and paleocurrent data. **Sedimentary Geology**, v.201, p.22–42, 2007.



- PEDRÃO, E.; ARAI, M.; CARVALHO, I.S. & SANTOS, M.H.B. 1993. Palinomorfos cenomanianos da Formação Itapecuru - Análise palinológica do afloramento da Ponta do Farol, município de São Luís (MA). In: CONGR. BRAS. PALEONT., 13, SIMPÓSIO PALEONTOLÓGICO DO CONE SUL, 1. **Boletim de Resumos...** São Leopoldo, 1993, p. 61.
- PESSOA, V.C.O. & BORGHI, L. Análise faciológica do Formação Itapecuru (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM ÓLEO E GÁS, 3., 2005. Salvador, BA. **Resumos...** Salvador: IBP, 2005. 1 CD-ROM.
- PESSOA, V.C.O. **Análise faciológica da Formação Itapecuru (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem.** 2005. 56f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PESSOA, V.C.O. **Estratigrafia e arquitetura deposicional da Formação Itapecuru (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem.** 2007. 94f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil.** São Paulo: T.A. Queiroz, 1983. 631p.
- PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SEIVER, R. **Sand and Sandstones.** Berlim: Springer-Verlag, 1987. 553p.
- ROSSETTI D.F. Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: D.F. ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. (eds.) **O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú.** Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p.31-46.
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Caracterização paleoambiental de depósitos albianos na borda sul da Bacia de São Luís-Grajaú: modelo de delta fluvial influenciado por tempestade. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 299-312, 2003.

## **APÊNDICE A – Estampas**

### Estampa I

A – Fotomicrografia da amostra 17 (petrofácies A) ilustrando a ocorrência de grãos de piroxênio oxidados e bordejados por esmectita. Aumento de 10x – luz despolarizada – Profundidade: 221,6 m

B – Fotomicrografia da amostra 17 (petrofácies A) ilustrando a ocorrência de grãos de piroxênio oxidados e sua birrefringência alta. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 221,6 m

C – Fotomicrografia da amostra 17 ilustrando a abundância de granófiros típica da petrofácies A. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 221,6 m

D – Fotomicrografia da amostra 14 (petrofácies A) ilustrando a abundância de granófiros, piroxênios e minerais opacos. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 205,0 m

E – Fotomicrografia da amostra 16 (petrofácies A) ilustrando as duas fases de cimentação, com as cutículas de esmectita seguidas de cimentação carbonática. Aumento de 2,5x – luz polarizada – Profundidade: 219,2 m

F Fotomicrografia da amostra 16 ilustrando a ocorrência de população de grãos de areia arredondada e de granulometria média dispersa em uma população angulosa de granulometria fina. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 219,2 m

### Estampa II

A – Fotomicrografia da amostra 17 (Petrofácies A) ilustrando um litoclasto metamórfico (filito) e a cimentação esmectítica preenchendo completamente os poros. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 221,6 m

B – Fotomicrografia da amostra 16 (Petrofácies A) ilustrando um grão de plagioclásio zonado e com textura granofírica. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 219,2 m

C – Fotomicrografia da amostra 7 (Petrofácies B) ilustrando grãos de biótica clorificada. Aumento de 10x – luz despolarizada – Profundidade: 104,9 m

D – Fotomicrografia da amostra 6 (Petrofácies B) ilustrando um grão de quartzo policristalino de fonte de alto grau metamórfico. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 97,8 m

E – Fotomicrografia da amostra 8 ilustrando seu aspecto geral e a abundância de biotita, típicos da Petrofácies B. Aumento de 2,5x – luz polarizada – Profundidade: 183,5 m

F – Fotomicrografia da amostra 2 (Petrofácies C) ilustrando um mega poro preenchido por caolinita vermicular grão de quartzo policristalino de fonte de alto grau metamórfico. Aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 48,8 m

### Estampa III

A – Fotomicrografia da amostra 2 (petrofácies C) ilustrando sua boa porosidade e a ocorrência localizada de concreção carbonática. .Aumento de 2,5x – luz despolarizada – Profundidade: 48,8 m

B – Fotomicrografia da amostra 2 (petrofácies C) ilustrando e a ocorrência localizada de concreção carbonática. .Aumento de 2,5x – luz polarizada – Profundidade: 48,8 m

C – Fotomicrografia da amostra 4 (petrofácies C) ilustrando grão cloritizado e poro preenchido por argila diagenética (caolinita e cimentação carbonática). aumento de 10x – luz polarizada – Profundidade: 61,45 m

D – Fotomicrografia da amostra 2 (petrofácies C) ilustrando a ocorrência de porosidade secundária por dissolução de grãos do. Aumento de 10x – luz despolarizada – Profundidade: 48,8 m

E – Fotomicrografia da amostra 1 (petrofácies C) ilustrando seu aspecto geral e sua grande concentração de óxido de ferro infiltrado. .Aumento de 2,5x – luz despolarizada – Profundidade: 45,0 m

F – Fotomicrografia da amostra 3 (petrofácies C) ilustrando a presença de litoclasto sedimentares (alteritos). .Aumento de 10x – luz despolarizada – Profundidade: 49,8 m

## **Estampa I**

A – Fotomicrografia da amostra 17 (petrofácies A) ilustrando a ocorrência de grãos de piroxênio oxidados e bordejados por esmectita. Aumento de 10x – Nicóis descruzados – Profundidade: 221,6 m

B – Fotomicrografia da amostra 17 (petrofácies A) ilustrando a ocorrência de grãos de piroxênio oxidados e sua birrefringência alta. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 221,6 m

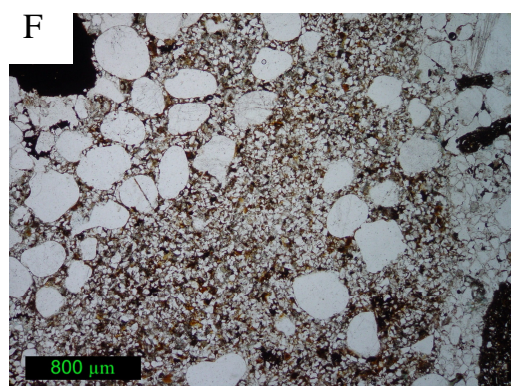
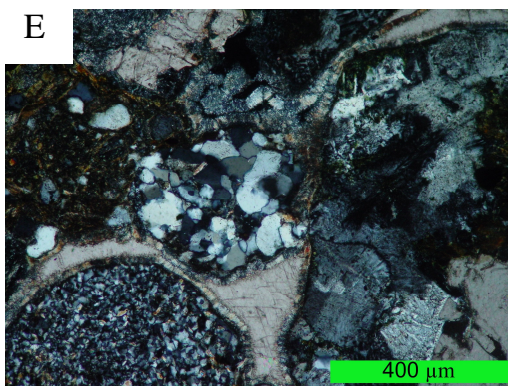
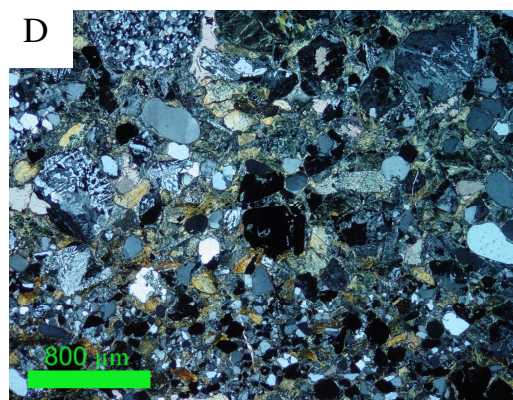
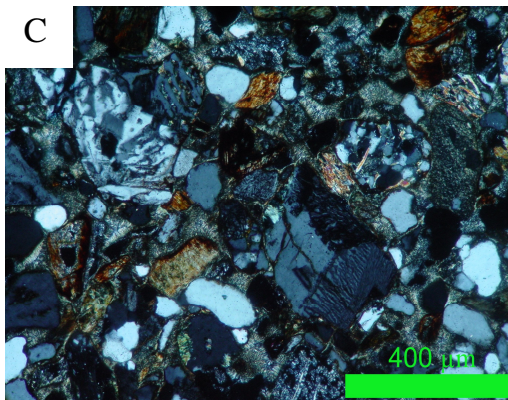
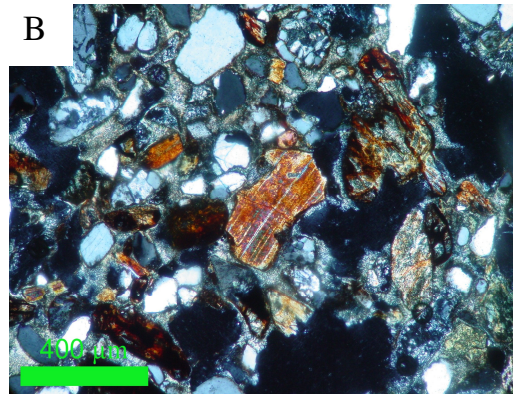
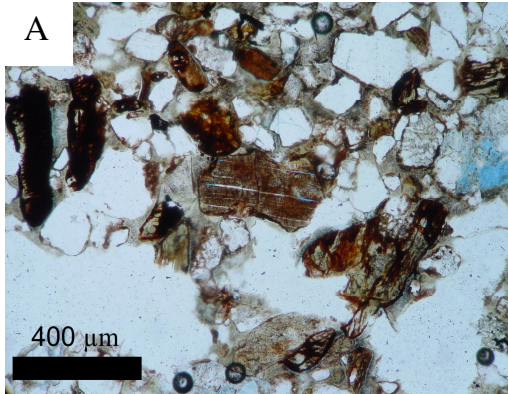
C – Fotomicrografia da amostra 17 ilustrando a abundância de granófiros típica da petrofácies A. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 221,6 m

D – Fotomicrografia da amostra 14 (petrofácies A) ilustrando a abundância de granófiros, piroxênios e minerais opacos. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 205,0 m

E – Fotomicrografia da amostra 16 (petrofácies A) ilustrando as duas fases de cimentação, com as cutículas de esmectita seguidas de cimentação carbonática. Aumento de 2,5x – Nicóis cruzados – Profundidade: 219,2 m

F – Fotomicrografia da amostra 16 ilustrando a ocorrência de população de grãos de areia arredondada e de granulometria média dispersa em uma população angulosa de granulometria fina. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 219,2 m

## ESTAMPA I



## **Estampa II**

A – Fotomicrografia da amostra 17 (Petrofácies A) ilustrando um litoclasto metamórfico (filito) e a cimentação esmectítica preenchendo completamente os poros. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 221,6 m

B – Fotomicrografia da amostra 16 (Petrofácies A) ilustrando um grão de plagioclásio zonado e com textura granofírica. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 219,2 m

C – Fotomicrografia da amostra 7 (Petrofácies B) ilustrando grãos de biótica clorificada. Aumento de 10x – Nicóis descruzados – Profundidade: 104,9 m

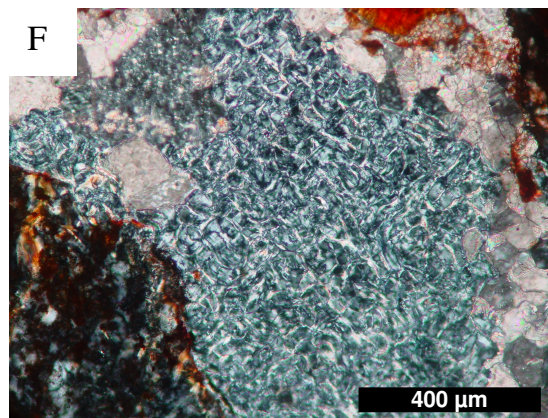
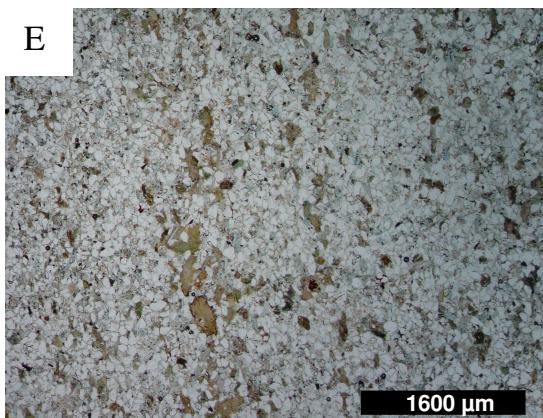
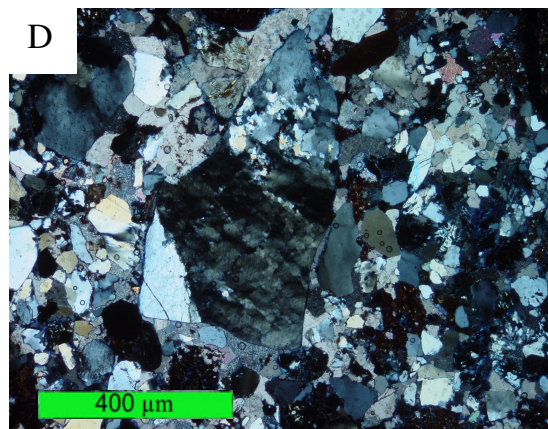
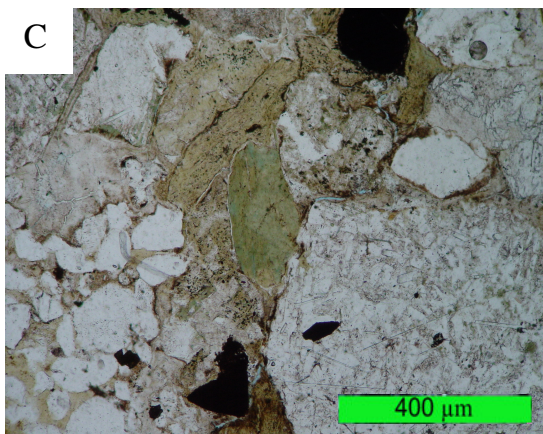
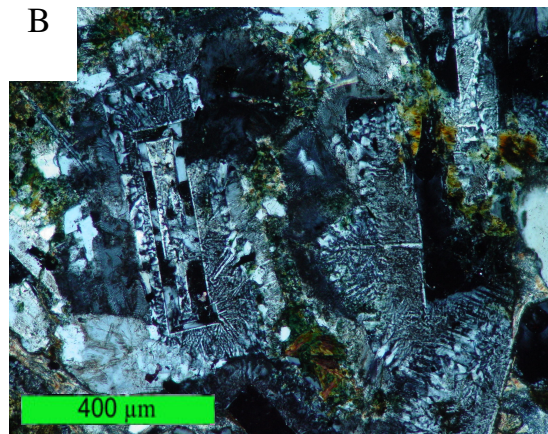
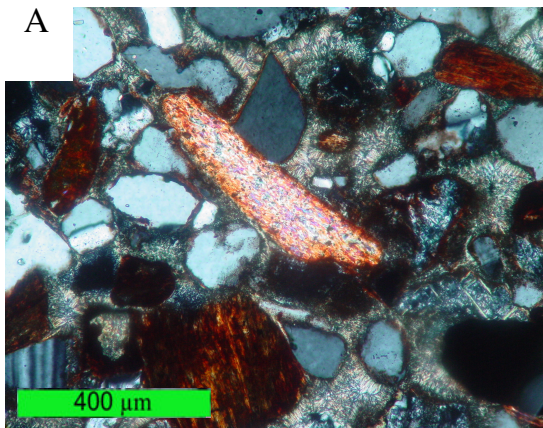
D – Fotomicrografia da amostra 6 (Petrofácies B) ilustrando um grão de quartzo policristalino de fonte de alto grau metamórfico. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 97,8 m

E – Fotomicrografia da amostra 8 ilustrando seu aspecto geral e a abundância de biotita, típicos da Petrofácies B. Aumento de 2,5x – Nicóis cruzados – Profundidade: 183,5 m

F – Fotomicrografia da amostra 2 (Petrofácies C) ilustrando um mega poro preenchido por caolinita vermicular grão de quartzo policristalino de fonte de alto grau metamórfico. Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 48,8 m



## ESTAMPA II



### **Estampa III**

A – Fotomicrografia da amostra 2 (petrofácies C) ilustrando sua boa porosidade e a ocorrência localizada de concreção carbonática. .Aumento de 2,5x – Nicóis descruzados – Profundidade: 48,8 m

B – Fotomicrografia da amostra 2 (petrofácies C) ilustrando e a ocorrência localizada de concreção carbonática. .Aumento de 2,5x – Nicóis cruzados – Profundidade: 48,8 m

C – Fotomicrografia da amostra 4 (petrofácies C) ilustrando grão cloritizado e poro preenchido por argila diagenética (caolinita e cimentação carbonática). Aumento de 10x – Nicóis cruzados – Profundidade: 61,45 m

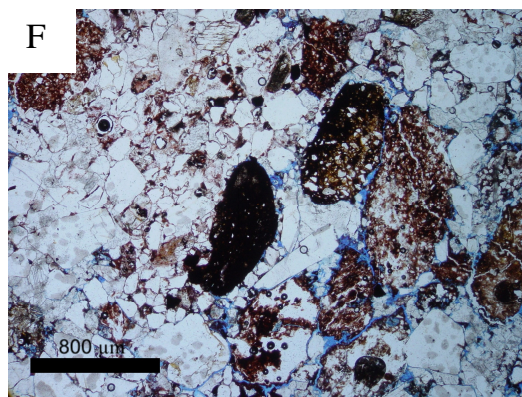
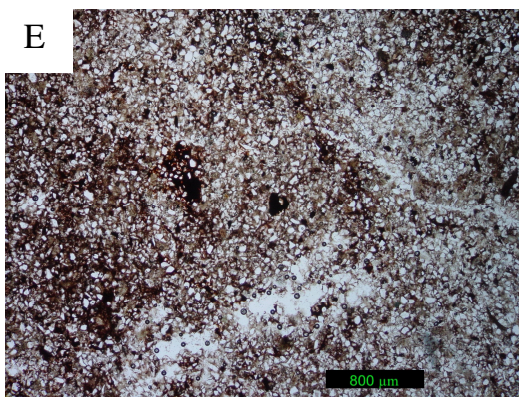
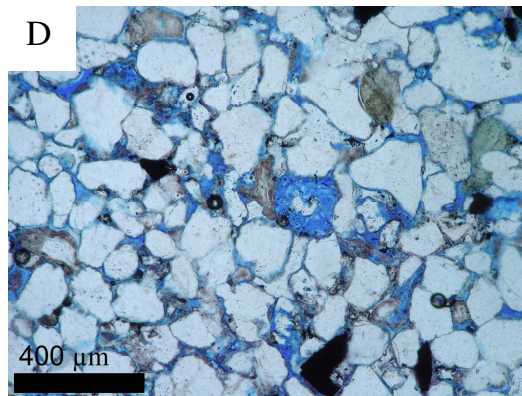
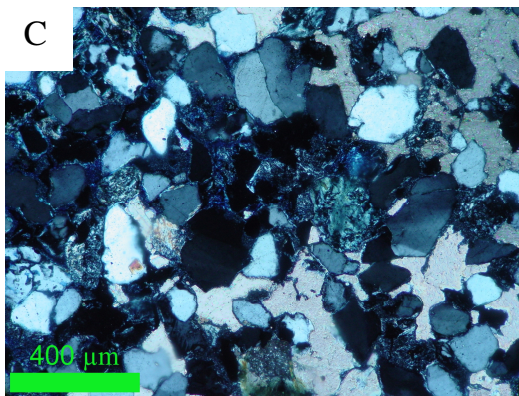
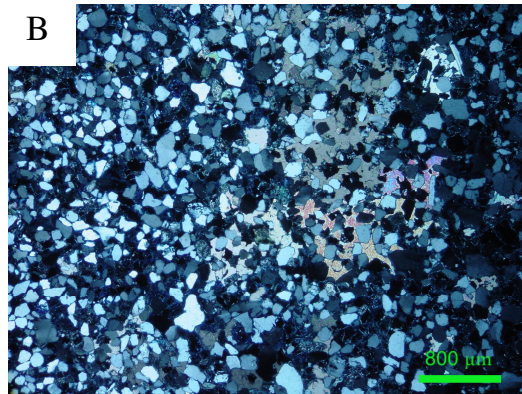
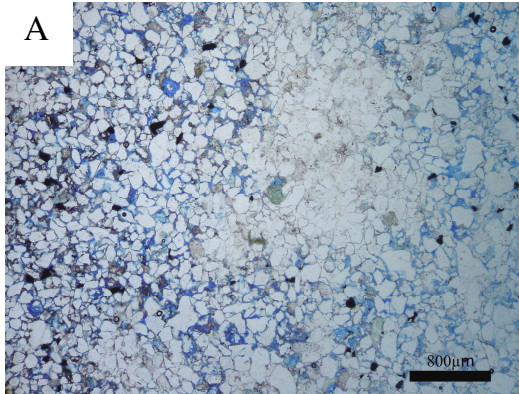
D – Fotomicrografia da amostra 2 (petrofácies C) ilustrando a ocorrência de porosidade secundária por dissolução de grãos do. Aumento de 10x – Nicóis descruzados.  
V5 – aumento 10x – porosidade secundária – Profundidade: 48,8 m

E – Fotomicrografia da amostra 1 (petrofácies C) ilustrando seu aspecto geral e sua grande concentração de óxido de ferro infiltrado. .Aumento de 2,5x – Nicóis descruzados – Profundidade: 45,0 m

F – Fotomicrografia da amostra 3 (petrofácies C) ilustrando a presença de litoclasto sedimentares (alteritos). .Aumento de 10x – Nicóis descruzados – Profundidade: 49,8 m



### ESTAMPA III



**APÊNDICE B — Relação das amostras estudadas, sua caracterização composicional, textural e de petrofácies.**

			COMPOSIÇÃO (%)																	
Amostras	Profundidade (m)	Petrofácies	Qm	Qp2-3	Qp >3	P	Mi	Or	Px	Hb	Bi	Mu	Ca	Zi	Op	Tu	Ls	Lm	Gr	Li
1	45.00	C	60.34	10.00	1.03	3.10	8.28	8.97	0.00	0.00	0.69	0.34	0.00	0.34	0.00	0.34	5.17	0.69	0.00	0.69
2	48.80	C	62.16	8.78	8.11	0.34	3.04	6.42	0.34	0.00	1.35	0.00	0.00	0.34	0.35	0.00	1.34	0.34	7.09	0.00
3	49.80	C	31.06	5.46	17.75	0.68	5.12	8.53	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	22.18	1.37	6.83	0.00
4	61.45	C	76.67	5.00	2.00	0.67	0.00	2.33	0.67	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	6.33	1.00	3.00	0.00
5	82.50	C	66.45	2.66	2.66	0.00	0.66	2.66	0.66	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	11.30	5.98	4.98	0.00
6	97.80	B	68.90	5.69	3.68	5.69	5.69	7.02	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.67	1.00	1.00	0.00
7	104.94	B	80.74	3.38	1.01	4.05	3.72	4.39	0.34	0.00	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00
8	183.55	B	66.21	2.73	1.02	3.75	1.02	4.44	2.73	0.00	10.24	0.34	0.00	0.00	0.34	0.34	0.68	0.00	6.14	0.00
9	186.25	B	68.71	2.16	1.44	3.24	1.44	3.96	0.36	1.08	8.99	0.00	0.00	0.00	2.16	0.36	0.00	0.72	4.68	0.72
10	188.43	B	70.14	2.43	0.35	3.47	2.78	7.29	1.74	0.00	6.60	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00	0.69	0.00	1.39	1.39
11	190.58	B	80.41	1.69	1.69	3.38	1.01	4.39	0.34	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	1.69	0.00	0.00	2.03	3.04	0.00
12	195.70	B	66.11	2.68	1.34	4.70	2.68	7.72	2.35	0.00	1.01	1.01	0.67	0.67	0.67	0.00	3.69	0.00	4.70	0.00
13	200.00	A	42.86	3.65	1.66	8.97	2.66	4.98	12.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.98	0.00	0.00	3.65	13.95	0.00
14	205.00	A	36.36	2.02	1.35	5.39	1.01	2.36	19.19	0.34	0.34	0.00	0.00	0.00	2.02	0.00	4.71	0.67	24.24	0.00
15	212.00	A	8.70	2.01	0.00	4.35	0.67	1.67	15.05	0.00	1.34	0.00	1.67	0.00	4.35	0.00	6.35	27.42	26.42	0.00
16	219.20	A	26.71	1.03	0.68	3.77	0.68	1.71	20.55	0.00	1.71	2.74	0.00	0.00	2.40	0.34	6.51	7.19	23.97	0.00
17	221.60	A	52.03	1.69	1.01	3.72	1.01	1.69	19.26	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	2.03	0.00	0.68	4.73	10.81	0.00
18	231.35	A	73.20	5.23	0.00	6.54	3.27	5.56	0.00	0.00	0.00	2.29	0.00	0.00	1.63	0.33	0.00	0.00	1.96	0.00

Amostras	Profundidade (m)	Petrofácies	Formação	Porosidade (%)				Folk (1974)
				Grão	Poro	Matriz	Cimento	
1	45.00	C	Itapecuru	84	1	9	6	Q <sub>73</sub> F <sub>21</sub> L <sub>7</sub>
2	48.80	C	Itapecuru	86	10	0	4	Q <sub>82</sub> F <sub>10</sub> L <sub>8</sub>
3	49.80	C	Itapecuru	82	5	1	11	Q <sub>55</sub> F <sub>14</sub> L <sub>31</sub>
4	61.45	C	Itapecuru	87	0	3	9	Q <sub>88</sub> F <sub>3</sub> L <sub>9</sub>
5	82.50	C	Itapecuru	85	0.5	9	5	Q <sub>74</sub> F <sub>3</sub> L <sub>22</sub>
6	97.80	B	Itapecuru	87	8	0	5	Q <sub>79</sub> F <sub>19</sub> L <sub>3</sub>
7	104.94	B	Codó	81	5	3	11	Q <sub>87</sub> F <sub>12</sub> L <sub>0</sub>
8	183.55	B	Codó	85	7	6	2	Q <sub>81</sub> F <sub>11</sub> L <sub>8</sub>
9	186.25	B	Codó	87	10	1	2	Q <sub>83</sub> F <sub>10</sub> L <sub>7</sub>
10	188.43	B	Grajaú	89.5	7	0.5	3	Q <sub>81</sub> F <sub>15</sub> L <sub>4</sub>
11	190.58	B	Grajaú	75	3	17	5	Q <sub>86</sub> F <sub>9</sub> L <sub>5</sub>
12	195.70	B	Grajaú	81	2	4	13	Q <sub>75</sub> F <sub>16</sub> L <sub>9</sub>
13	200.00	A	Grajaú	83	3	1	13	Q <sub>58</sub> F <sub>20</sub> L <sub>21</sub>
14	205.00	A	Grajaú	85	1	1	13	Q <sub>51</sub> F <sub>11</sub> L <sub>38</sub>
15	212.00	A	Grajaú	88	9	0	3	Q <sub>14</sub> F <sub>9</sub> L <sub>78</sub>
16	219.20	A	Grajaú	93.5	0.5	1	5	Q <sub>39</sub> F <sub>9</sub> L <sub>52</sub>
17	221.60	A	Grajaú	85	2	2	11	Q <sub>71</sub> F <sub>8</sub> L <sub>21</sub>
8	231.35	A	Grajaú	87	9	0	4	Q <sub>82</sub> F <sub>16</sub> L <sub>2</sub>